

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-208575

(P2000-208575A)

(43)公開日 平成12年7月28日(2000.7.28)

(51)IntCl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード*(参考)
H 0 1 L 21/66		H 0 1 L 21/66	J
G 0 1 N 23/225		G 0 1 N 23/225	
G 0 6 T 7/00		H 0 1 J 37/22	5 0 2 H
H 0 1 J 37/22	5 0 2	G 0 1 N 13/10	E
// G 0 1 N 13/10		G 0 6 F 15/62	4 0 5 A
審査請求 未請求 請求項の数34 O L (全 53 頁)			

(21)出願番号 特願2000-2018(P2000-2018)

(22)出願日 平成12年1月7日(2000.1.7)

(31)優先権主張番号 09/227747

(32)優先日 平成11年1月8日(1999.1.8)

(33)優先権主張国 米国 (US)

(71)出願人 500018217

シュルンベルジェ テクノロジー, インコーポレーテッド

アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
95110-1387 サンホゼ, テクノロジー  
ドライブ 1601

(72)発明者 ハリー エス. ガラダ, ジュニア

アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
94043 マウンテン ヴュー, ウェスト  
ミドルフィールド ロード 555, アパー  
トメント E-206

(74)代理人 100065916

弁理士 内原 晋

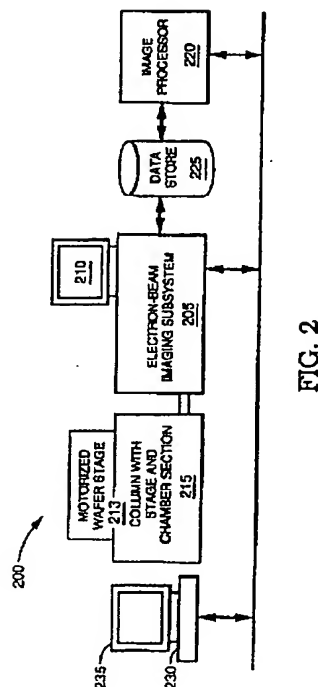
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 形状特徴に基づく欠陥検出方法及び装置

#### (57)【要約】

【課題】 パターン形成ずみの半導体IC基板の欠陥の検出において擬似欠陥の検出を最小化しスループットを上げる。

【解決方法】 パターン形成ずみの基板を検出する方法であって、基準画像および被検画像を形成する過程と、前記基準画像から形状特徴を抽出するとともに前記被検画像から形状特徴を抽出する過程と、前記基準画像の形状特徴と前記被検画像の形状特徴とをマッチングする過程と、欠陥を検出するように前記基準画像の形状特徴を前記被検画像の形状特徴と比較する過程とを含む方法を提供する。この発明の実施例には、パターン形成ずみ基板の検査装置、パターン形成ずみ基板の検査用のプロセッサを有するシステムの制御のための命令を含むコンピュータ読取可能な媒体、およびパターン形成ずみ基板の検査システムの制御用のコンピュータ読取可能なプログラムコードを有するコンピュータ利用可能な媒体を含むコンピュータプログラムプロダクトなどがある。画像としては電子ビーム電圧コントラスト画像を用いることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】パターン形成ずみの基板を検出する方法であって、

(a)基準画像および被検画像を形成する過程(610)と、

(b)前記基準画像から形状特徴を抽出するとともに前記被検画像から形状特徴を抽出する過程(620)と、

(c)前記基準画像の形状特徴と前記被検画像の形状特徴とをマッチングする過程(625)と、

(d)欠陥を検出するように前記基準画像の形状特徴を前記被検画像の形状特徴と比較する過程(630)とを含む方法。

【請求項2】前記基準画像の形状特徴と前記被検画像の形状特徴とをパターンマッチングする過程の前に前記被検画像を前記基準画像と目合わせする過程(615)をさらに含む請求項1記載の方法。

【請求項3】前記基準画像の形状特徴を前記被検画像の形状特徴と比較する過程において検出された欠陥を記録する過程(625)をさらに含む請求項1記載の方法。

【請求項4】前記基準画像が第1のパターン形成ずみ基板の電圧コントラスト画像であり、前記被検画像が第2の基板の電圧コントラスト画像である請求項1記載の方法。

【請求項5】前記基準画像がパターン形成ずみ基板の第1の領域の電圧コントラスト画像であり、前記被検画像が同じ基板の第2の領域の電圧コントラスト画像である請求項1記載の方法。

【請求項6】前記基準画像がパターン形成ずみの反復セルの画像であり、前記被検画像が前記基準画像に対してセル1個分だけシフトした前記基準画像の複製である請求項5記載の方法。

【請求項7】前記基準画像および被検画像を形成する過程が前記基準画像を平滑化するとともに前記被検画像を平滑化する過程(7610B, 9610B, 9610D)を含む請求項1記載の方法。

【請求項8】前記基準画像および被検画像を形成する過程が前記基準画像を正規化するとともに前記被検画像を正規化する過程(7610C, 9610E)を含む請求項1記載の方法。

【請求項9】前記基準画像および被検画像を形成する過程が基準画像を蓄積する過程(9610A)および被検画像を蓄積する過程(9610C)を含む請求項1記載の方法。

【請求項10】前記形状特徴を抽出する過程が前記基準画像から形状特徴を抽出する過程(9620A)とそのあと被検画像から形状特徴を抽出する過程(9620B)とを含む請求項1記載の方法。

【請求項11】基準画像および被検画像を形成する過程並びにそれら画像から形状特徴を抽出する過程が、基準画像を蓄積する過程(9610A)および前記基準画像から形状特徴を抽出する過程(9620A)と、被検画像を蓄積

する過程(9610C)および前記被検画像から形状特徴を抽出する過程(9620B)とを含む請求項1記載の方法。

【請求項12】前記基準画像および前記被検画像が位置情報および強度情報を有する画素データから成り、前記基準画像および前記被検画像から形状特徴を抽出する過程が、形状特徴領域および非形状特徴領域を有する2値レベル画像を生ずるように前記強度情報をスレッシュホールド処理する過程と、前記2値レベル画像をマスクとして用いてその2値レベル画像の前記形状特徴領域に対応する前記被検画像の領域を形状特徴として画定する過程とを含む請求項1記載の方法。

【請求項13】前記基準画像および前記被検画像が位置情報および強度情報を有する画素データから成り、前記基準画像および前記被検画像から形状特徴を抽出する過程が、前記被検画像を標本形状特徴と繰り返し比較して前記被検画像の形状特徴と前記標本形状特徴との間の相関を表す相関データを生ずる過程と、前記被検画像の中の形状特徴位置を特定するように前記相関データをスレッシュホールド処理する過程と、特定された前記形状特徴位置における形状特徴の端部を検出する過程とを含む請求項1記載の方法。

【請求項14】欠陥を検出するように前記基準画像の形状特徴を前記被検画像の形状特徴と比較する過程が、形状特徴特性を計算する過程(8630A)と、算出された形状特徴特性を比較する過程(8630B)と、所定の欠陥判定基準に合致する比較結果を判定する過程(8630C)とを含む請求項1記載の方法。

【請求項15】欠陥を検出するように前記基準画像の形状特徴を前記被検画像の形状特徴と比較する過程が、前記基準画像の中の形状特徴特性を計算する過程(10-630A)と、被検画像の中の形状特徴特性を比較する過程(10-630A)と、算出された前記被検画像の中の形状特徴特性を算出された前記基準画像の中の形状特徴特性と比較する過程(10-630B)と、形状特徴特性比較統計値を計算する過程(10-630C)と、所定の欠陥判定基準に合致する比較統計値を判定する過程(10-630D)とを含む請求項1記載の方法。

【請求項16】欠陥特性統計値を通知する過程をさらに含む請求項1記載の方法。

【請求項17】前記基準画像から形状特徴を抽出する過程が、前記基準画像の平均背景レベルを計算する過程(13-9620A1)と、前記基準画像から前記平均背景レベルを除去して第1の改変基準画像を生ずる過程(13-9620A2)と、前記第1の改変基準画像をスレッシュホールド処理して第2の改変基準画像を生ずる過程(13-9620A3)と、前記第2の改変基準画像の中の形状特徴を特定する過程(13-9620A4)とを含む請求項10記載の方法。

【請求項18】前記被検画像から形状特徴を抽出する過程が、前記被検画像の平均背景レベルを計算する過程(14-9620A1)と、前記被検画像から前記平均背景レベ

ルを除去して第 1 の改変被検画像を生ずる過程 (14-9620A2) と、前記第 1 の改変被検画像をスレッシュド処理して第 2 の改変被検画像を生ずる過程 (14-9620A3) と、前記第 2 の改変被検画像の中の形状特徴を特定する過程 (14-9620A4) とを含む請求項 1 1 記載の方法。

【請求項 1 9】前記基準画像から形状特徴を抽出する過程が、前記基準画像の中の形状特徴テンプレートをマッチングする過程 (15-9620A3) と、前記形状特徴テンプレートに合致する前記基準画像中の形状特徴を特定する過程 (15-9620A4) とを含む請求項 1 1 記載の方法。

【請求項 2 0】前記基準画像から形状特徴を抽出する過程が、前記基準画像の平均背景レベルを計算する過程 (15-9620A1) と、前記基準画像から前記平均背景レベルを除去して第 1 の改変基準画像を生ずる過程 (15-9620A2) と、前記第 1 の改変基準画像の中の形状特徴テンプレートをマッチングする過程 (15-9620A3) と、前記形状特徴テンプレートに合致する前記第 2 の改変基準画像の中の形状特徴を特定する過程 (15-9620A4) とを含む請求項 1 2 記載の方法。

【請求項 2 1】前記被検画像から形状特徴を抽出する過程が、前記被検画像の中の形状特徴テンプレートをマッチングする過程 (16-9620B3) と前記形状特徴テンプレートに合致する前記被検画像中の形状特徴を特定する過程 (16-9620B4) とを含む請求項 1 1 記載の方法。

【請求項 2 2】前記被検画像から形状特徴を抽出する過程が、前記被検画像の平均背景レベルを計算する過程 (16-9620B1) と、前記被検画像から前記平均背景レベルを除去して第 1 の改変被検画像を生ずる過程 (16-9620B2) と、前記第 1 の改変被検画像の中の形状特徴テンプレートをマッチングする過程 (16-9620B3) と、前記形状特徴テンプレートに合致する前記第 2 の改変被検画像の中の形状特徴を特定する過程 (16-9620B4) とを含む請求項 1 1 記載の方法。

【請求項 2 3】パターン形成ずみ基板を検査する装置であって、コンピュータシステムと、少なくとも一つのパターン形成ずみ基板の基準画像および被検画像を形成し、前記基準画像から形状特徴を抽出するとともに前記被検画像から形状特徴を抽出し、前記基準画像の形状特徴を前記被検画像の形状特徴とマッチングし、欠陥の特定のために前記基準画像の形状特徴を前記被検画像の形状特徴と比較するように前記コンピュータを制御する命令を含む装置。

【請求項 2 4】前記命令が、前記基準画像の形状特徴と前記被検画像の形状特徴とをマッチングする前に前記被検画像を前記基準画像と目合わせするように前記コンピュータを制御する請求項 2 3 記載の装置。

【請求項 2 5】前記命令が、前記基準画像の形状特徴を前記被検画像の形状特徴と比較する過程において検出された欠陥を記録するように前記コンピュータを制御する請求項 2 3 記載の装置。

【請求項 2 6】前記パターン形成ずみ基板の電圧コントラスト画像を被検画像として使えるように捕捉する電子ビーム画像形成システムをさらに含む請求項 2 3 記載の装置。

【請求項 2 7】前記命令が前記基準画像および前記被検画像の少なくとも一方を平滑化するように前記コンピュータシステムを制御する請求項 2 3 記載の装置。

【請求項 2 8】前記命令が前記基準画像および前記被検画像の少なくとも一方を正規化するように前記コンピュータシステムを制御する請求項 2 3 記載の装置。

【請求項 2 9】前記命令が前記基準画像から形状特徴を抽出し次に前記被検画像から形状特徴を抽出するように前記コンピュータシステムを制御する請求項 2 3 記載の装置。

【請求項 3 0】前記命令が、前記基準画像および被検画像の形状特徴特性を計算し、算出された形状特徴を比較し、所定の欠陥判定基準値に合致した比較結果を判定するように前記コンピュータシステムを制御する請求項 2 3 記載の装置。

【請求項 3 1】前記命令が、前記基準画像の背景レベルを計算し、第 1 の改変基準画像の発生のために前記基準画像から前記背景レベルを除去し、第 2 の改変基準画像の発生のために前記第 1 の改変基準画像をスレッシュド処理し、前記第 2 の改変基準画像の中の形状特徴を特定するように前記コンピュータシステムを制御する請求項 3 0 記載の装置。

【請求項 3 2】前記命令が、前記被検画像の背景レベルを計算し、第 1 の改変被検画像の発生のために前記被検画像から前記背景レベルを除去し、第 2 の改変被検画像の発生のために前記第 1 の改変被検画像をスレッシュド処理し、前記第 2 の改変被検画像の中の形状特徴を特定するように前記コンピュータシステムを制御する請求項 3 0 記載の装置。

【請求項 3 3】前記命令が、画像の中の形状特徴の抽出を、その画像の中の形状特徴テンプレートをマッチングし、前記形状特徴テンプレートに合致する前記画像の中の形状特徴を特定することによって行うように前記コンピュータシステムを制御する請求項 3 0 記載の装置。

【請求項 3 4】少なくとも一つのパターン形成ずみ基板の基準画像および被検画像を形成し、前記基準画像から形状特徴を抽出するとともに前記被検画像から形状特徴を抽出し、前記基準画像の形状特徴を前記被検画像の形状特徴とマッチングし、欠陥の特定のために前記基準画像の形状特徴を前記被検画像の形状特徴と比較するようにコンピュータを制御する命令を含むコンピュータ読取可能な媒体を含むコンピュータプログラムプロダクト。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は半導体ウェーハなどパターン形成済み基板の欠陥検出技術に関し、特に電圧

コントラスト画像の特徴に基づく欠陥検出技術に関する。

【0002】この出願は1997年7月15日提出の同時出願中の米国特許出願第08/892,734号、1997年1月13日提出の同米国特許出願第08/782,740号、1998年1月23日提出の同米国特許出願第09/012,227号、この出願と同日付の米国特許出願第09/226,962号「微小構造欠陥の検出」、同米国特許出願第09/227,747号「形状特徴を利用した欠陥検出」、および同米国特許出願第09/226,967号「パターン形成した基板の欠陥の検出」に関連し、これら出願をここに参照して、それぞれの内容をこの明細書に組み入れる。

【0003】半導体デバイスの製造には、基板上にパターンを形成する多くのプロセスステップが関わる。中間製造段階のパターンに欠陥があると、欠陥チップが生まれる結果にもなり、ひいては歩留まり低下につながる。中間製造段階（「インプロセス」）の半導体ウェーハ上のパターンを検査するための方法及び装置は周知である。これにはウェーハの光像における可視パターン欠陥の識別に基づくシステム及び方法が含まれる。その少なくとも1つの技術的取り組み方は、米国特許第5,502,306号及び第5,578,821号に開示され、KLA-Tencor Corp社により商業ベースで提供されるSEMSpecシステムで実施されているような走査電子ビームを用いて得られるウェーハの電圧コントラスト画像に基づいたものである。

【0004】電圧コントラスト画像から欠陥を検出するための従来技術の方法としては、検査しようとするパターンの画像と基準画像とで1画素ずつ画素強度値の差を取るという原理に基づいたものがある。この方法では、2つの電圧コントラスト画像、あるいは1つの電圧コントラスト画像の2つの領域が互いに比較される。欠陥を抽出するには、まずこれらの2つの画像あるいは画像領域の明るさとコントラストの差が補正され、互いに位置合わせ（以下アラインメントとも称する）される。次に、1画素ずつ画素強度値の差を取って、差画像が生成される。その結果の差画像をスレッシュホルド値と比較して、2値形式の画素値からなる欠陥画像が生成される。最小サイズ、形状、強度等のような欠陥画像の一定条件を満たす特徴は、欠陥であると見なされる。次に、画像の欠陥の統計データが計算されて、報告される。例えば、各画像毎に最大の欠陥と欠陥の総数が表示される。次に、それらの統計データに基づき画像が評価されて、最も顕著な欠陥を最初に処理、分析することにより評価時間が大幅に短縮されるようにする。

【0005】この方法の強味は、両方の画像または両方の画像領域がほぼ同じサイズであること、アラインメント及び画像正規化により画像または画像領域の全体的な差を補正するという以外、電圧コントラスト画像の電気的な特徴あるいは構成の情報をほとんど必要としな

いということである。この方法は、どのような電気パターンが検査中であるかが最初から分からなくても電圧コントラスト画像の欠陥を検出することが可能である。

【0006】しかしながら、この強味は同時に弱点でもある。すなわち、画像間の差は、たとえ欠陥ではなくとも全て潜在的欠陥であると見なされるので、「致命的」欠陥を「妨害的」欠陥あるいは「疑似」欠陥と区別することができない。「致命的」欠陥とは、チップの最終検査で電気的有意性を持つ欠陥で、信頼性の低下あるいは電気性能の低下につながるものをいう。「疑似」欠陥とは、表面あるいは画像の何らかの人為的な結果（以下アーティファクトとする）とは何ら対応していないのに欠陥検出システムによって欠陥と報告される欠陥で、例えば欠陥検出システムによる誤差に起因する。「妨害的」欠陥とは、実際にあるが、致命的欠陥でもなければ、他の点で重要でもない表面あるいは画像のアーティファクトである。検査プロセスのアーティファクトには、画像のミスアラインメント、局所的な画像歪み及び電圧コントラスト画像を得るために用いられる走査プロセスの非線形性に起因するものがある。致命的欠陥の発生は一般には非常にまれであるため、妨害的欠陥の検出数は致命的欠陥の数よりはるかに多くなり得る。従来の画素ベースの検査システムでは、報告される欠陥の90%以上が妨害的欠陥のこともある。これらの妨害的欠陥を致命的欠陥から選別するには、人間による時間と費用のかかる評価及び判定の作業が必要になる。妨害的欠陥と疑似欠陥の割合が高く、人間の介入が必要であると、検査プロセスが半導体ウェーハ製造により役立つようにするためにその性能を改善することが困難になる。ウェーハステージの位置決めをより正確にする、画像化をより均一かつより再現性のあるものにする、また欠陥検出アルゴリズムを改善するというようなミスアラインメントに起因する妨害的欠陥及び疑似欠陥の割合を小さくするための現行の解決方法では、問題が解消されず、通常は致命的欠陥に対する感度が低下する。同時に、これらの解決方法は、より多くの処理が必要になり、従って処理時間あるいは処理用ハードウェアもより多く必要になる。これは、スループット及び性能対価格比が低く抑えられる結果につながる。

【0007】もう一つの欠点は、画素ベースの方法であるため、強度差を1画素ずつしか検出できないということである。そのために、ある種の欠陥の検出が、不可能ではないにしても、困難になる。本願原出願と同日提出の米国特許出願第09/226,962号には、空コンタクトホールのような特徴要素における電気的に有意な欠陥の電圧コントラスト画像での可視性を良くするための技術が開示されている。これらの技術は、コンタクトホール中の材料の電気的接続性に応じて電圧コントラスト画像中の空コンタクトホールの見かけのサイズを変化させるものである。画素ベースの画像比較法は、コンタクトホール

のサイズの変化をコンタクトホールのある画素の強度差として検出することができるかもしれず、画素強度の差を取る方法は、ドーナツ型欠陥を明らかにすることができるかもしれないが、この種の欠陥の基本的な現出形態、すなわち強度の変化ではなく特徴要素のサイズの見かけの変化を検出するものではないように思われる。

【0008】図1は、画像を取り込んで、並列に処理する従来技術の方法を示したものである。画像取込みの部分は、ステップ105のパッチファイルのセットアップから始まり、ステップ110の画像取込み、ステップ115の画像の保存と続いた後、ステップ120で次の画像に移る。画像はディスク記憶装置125に保存される。ウェーハの他の領域についてもステップ110、115及び120が繰り返され、ウェーハについて画像化が終了すると、次のウェーハの画像化が開始される。画像が取り込まれたならば、続いて次の画像の取込みと並行して画像処理が行われる。画像処理は、ステップ130の取込み画像と基準画像とのアラインメントで開始され、次にステップ135で画像の画素強度レベルの差を取ることによって差画像が生成される。ステップ140で差画像からノイズが減じられ、その後ステップ145で差画像中の特徴要素数が数えられる。ステップ150で差画像中の特徴要素が仕分けされ、ステップ155でどの特徴要素を欠陥とみなすかどうかを決定するための評価が人手によって行われる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】このように、妨害的欠陥の割合がより小さくて人間の介入の必要度がより低く、従ってスループット及び性能対コスト比が改善された方法及び装置が必要な状況にある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は、半導体ウェーハのようなパターン形成済み基板の検査で特徴要素ベースの画像処理を用いて電圧コントラスト電子ビーム（以下e-ビームとも称する）画像から欠陥を検出し、数値化し、分析する方法及び装置にある。本発明によれば、パターン形成済み基板を検査する方法は、基準画像と被検画像を用意する過程と、基準画像から特徴要素を抽出すると共に被検画像から特徴要素を抽出する過程と、基準画像の特徴要素と被検画像の特徴要素とをマッチングさせる過程と、基準画像と被検画像の特徴要素とを比較して欠陥を特定する過程とを具備したものである。特徴要素をマッチさせる前に、基準画像と被検画像を互いに位置合わせする過程を設けてもよい。基準画像及び被検画像はそれぞれ第1のパターン形成済み基板の電圧コントラスト画像及び第2のパターン形成済み基板の電圧コントラスト画像であってもよく、あるいは基準画像及び被検画像はそれぞれパターン形成済み基板の第1の領域の電圧コントラスト画像及び同じパターン形成済み基板

の第2の領域の電圧コントラスト画像であってもよく、あるいは基準画像はパターン形成済み基板の反復セルの画像とし、被検画像はその基準画像を1セルだけずらした画像の複製画像としてもよい。画像は、空間平滑化法及び／または正規化法のような技術によって前処理することによりノイズ及び／またはアーティファクトを低減させることも可能である。画像の特徴要素を比較して欠陥を特定する過程は、特徴要素すなわち形状特徴の特性（サイズ、形状、平均画素強度、重心、直径、面積、標準偏差等）を計算する過程と、これらの計算された特徴要素の特性を比較する過程と、その比較結果の中で所定の欠陥基準に適合する比較結果を調べて決定する過程とで構成することが可能である。画像から特徴要素を抽出する過程は、特徴要素の画質を向上させる（画像の平均背景レベルを計算し、その平均背景レベルを画像から除去する等により）ことによって第1の修正画像を生成する過程と、第1の修正画像をスレッシュOLD値と比較処理して第2の修正画像を生成する過程と、第2の修正画像の特徴要素をする過程とで構成することができる。あるいは、画像から特徴要素を抽出する過程は、画像に特徴要素テンプレートをマッチさせる過程と、特徴要素テンプレートとマッチする画像中の特徴要素を特定する過程とで構成することができる。

【0011】本発明の実施例には、パターン形成済み基板を検査するための装置、パターン形成済み基板を検査するためのプロセッサを有するシステムを制御するための命令が書き込まれたコンピュータ可読媒体、及びパターン形成済み基板を検査するためのシステムを制御するためのコンピュータ可読プログラムコードが実装されたコンピュータ使用可能媒体よりなるコンピュータプログラム製品が含まれる。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明を添付図面に示す実施例に基づき詳細に説明する。

【0013】図2は、本発明による電圧コントラスト技術を使用するウェーハの検定のための一例のシステム200の構成を概略図示したものである。システム200は、任意のディスプレイ210を有する（シュルンベルジェ（Schlumberger）IDS10000システムの電子ビーム画像化サブシステムのような）電子ビームサブシステム205、モータ駆動ウェーハステージ213、ステージ及び真空室を含む電子カラム215、画像プロセッサ220、100ギガバイト（GB）のディスクドライブのようなデータ記憶装置225及び、ディスプレイ235を有する任意の構成要素としてのコンピュータサブシステム230で構成されている。電子ビームサブシステム205、画像プロセッサ220及びコンピュータサブシステム230は、ネットワークバス240あるいは他の適切なリンクを介して相互に通信する。電子ビームサブシステム205は、例えば、シ

ュルンベルジェ・オートメーティド・テスト・システムズ社 (Schlumberger Automated Test Systems) (米国カリフォルニア州サンノゼ) より商業ベースで提供されているIDS10000電子ビーム・ブローブシステムで、ソフトウェアを以下詳細に説明するように本発明による動作が可能なるように修正したものを使用することができる。このような動作には、例えば、多重非同期画像処理、画像アライメント処理及び評価、ウェーハ欠陥マップ生成及び表示、さらには評価のための画像のインポート及びエクスポートが含まれる。電子ビームサブシステム205は、より高い電子ビームエネルギーあるいは電流が得られるようにした修正態様や、本願と同時係属になるシー・ダブル・ロー (C. W. Lo) 他の米国特許出願第08/892, 734号 (1997年7月15日出願) に記載されているような選択された荷電極性による安定した制御可能なウェーハの表面荷電のためのブリチャージ用フラッドガンと関連ハードウェア及びソフトウェア要素を含んでもよい。モータ駆動ウェーハステージ215は、例えばシュルンベルジェ・オートメーティド・テストシステムズ社 (Schlumberger Automated Test Systems) (米国カリフォルニア州サンノゼ) より商業ベースで提供されているような、電子ビームサブシステム205の電子カラム (図示省略) に対して相対的にウェーハを操作し、処理するためのモデルMWSモータ駆動ウェーハステージであってもよい。画像プロセッサ220は、例えば、ネットワーク化されたワークステーションのグループあるいはペンティアム (Pentium) 2プロセッサを具備したパーソナルコンピュータのネットワーク化グループのようなパーソナルコンピュータのグループであってもよい。データ記憶装置225は、基準画像の保存及び多重非同期画像処理のための記憶容量を具備する。ディスプレイ235を有する任意の構成要素としてのコンピュータサブシステム230は、ウェーハの検査・検定作業に関連したプロセス及び画像の人間のオペレータによる監視と評価が可能な構成を有する。

【0014】本発明による欠陥検出方法は、スレッシュホールド値との比較処理によって特徴要素画像の2値画像を生成し、次いで任意のグレースケール画像を生成することによるか、あるいは画像中の特徴要素と特徴要素テンプレートとの比較による等によって画像から特徴ないしは特徴要素を抽出する。画像は特徴要素のマッピングのために位置合わせすることもできれば、特徴要素画像の2値画像を位置合わせしてから対応する特徴要素をマッチさせるようにしてもよい。すなわち、例えば電氣的有意性があるような特徴要素を電圧コントラスト画像から抽出した後、1特徴要素ずつマッチさせてから欠陥判定が行われる。この方法は、従来の画素ベースの方法と比較して、下記の点で望ましい効果がある：

1. 妨害的欠陥と疑似欠陥との比が小さくなり、致命的欠陥に対する感度が向上する。
  2. 特徴要素全体にわたって画素値を平均することによるショットノイズ低減。
  3. 欠陥判定プロセスが単純化及び迅速化されるように、電氣的有意性がありそうな画像の部分だけが抽出される。
  4. このプロセスは画素より特徴要素に基づいたものであるから、面積、平均強度、強度の和、形状、モーメント等のような特徴要素の潜在的に有意な特性を計算して比較することができる。
  5. 処理作業負荷を低減することが可能である。1画素ずつではなく1特徴要素ずつ画像を比較することによって、演算数が画素数 (通常数10万ある数100万) によってではなく、特徴要素の数 (通常数100) によって決定される。そのため、計算資源を欠陥検出のローバスト性を改善するために利用することが可能になる。
  6. 基準画像と被検画像あるいはこれらの画像領域のアライメントに画素精度を必要としない。画像のアライメントは、画像間あるいは画像領域間の対応する特徴要素が正確にマッチする程度に正確でありさえすれば十分である。従って、ウェーハステージと画像アライメントアルゴリズムの要求精度は、画素サイズではなく特徴要素サイズによって決まる。
- 【0015】図3は、本発明に基づくいくつかの方法の高水準フローチャートである。まずステップ305において、グラフィカルユーザインタフェースがオペレータによる評価のための「ジョブプレシビ」を表示する。オペレータがそのジョブのためのパラメータを選択するかあるいは入力すると、ステップ310で画像処理 (IP) アルゴリズムとIPパラメータが、そのジョブにテンプレート画像が必要ならばそれと共に、アクティブメモリにロードされる。ステップ315で、画像データソース、例えばダイレクトビデオ (ライブ) 画像かまたは前に取り込まれディスクに保存された画像のどちらかが選択される。ステップ320で、基準画像Rと処理しようとする被検画像Tが、ジョブに必要なならアービトレータ画像Aと共に、アクティブメモリにロードされる。アービトレータ画像の利用については、以下にさらに詳しく説明する。一般に、アービトレータ画像は、例えば隣り合うメモリセルのようにウェーハ上で反復的に生じる構造を表す画像あるいは画像部分を比較するとき等、ウェーハ上の2つの領域の画像を比較する際、2つの領域のどちらに欠陥があるかに関するあいまい性を排除するために用いられる。ステップ325で、基準画像と被検画像とが位置合わせされ、ジョブにとって必要ならば、アービトレータ画像もこれらの画像と位置合わせされる。あるいは、正確なステージが使用されかつ/または画像が前もって位置合わせされている場合のように、画像アライメントが必要でない場合は、ステップ325はス



キップされる。ステップ335では、特徴要素ベースの欠陥検出が実行される。ステップ340では、欠陥の位置、サイズ、タイプ等のような欠陥検出の結果がデータベースにセーブされかつ/または報告され、また任意の態様としては、画像が事後の参照用としてセーブされる。ステップ345で、欠陥のマップや欠陥の位置、サイズ、タイプ等についての統計データのような中間画像及び中間結果が、任意の態様として、オペレータによる監視のために表示画面350上に表示される。

【0016】図4は、中間製造段階の半導体ウェーハのチップの2つの電圧コントラスト画像を示す分割画面の図である。これらの画像は、誘電体層を貫通してエッチングすることによりコンタクトホールが形成されてコンタクト要素が露出した後の製造段階で得られる画像である。黒のドットは各々コンタクトホールを表している。図4の左側の画像410は第1のチップについて撮影された基準画像である。画像420は第2のチップについて撮影された被検画像である。コンタクトホールの欠陥あるいは形成不良のような電氣的有意性のある欠陥を識別ないしは特定するためには、画像420を検査することが望ましい。本発明による方法は、これらの画像間で特徴要素をマッチさせることによって検査を行うよう構成されている。

【0017】図5は、コンタクトホールの電圧コントラスト画像間で特徴要素をマッチさせるための本発明による方法の高水準説明図である。図示説明の便宜上図5の画像には少数のコンタクトホールしか示されていないが、これらの技術は、はるかに大きいコンタクトホール視野にも、コンタクトホール以外の半導体特徴要素の画像にも適用することができる。基準画像510は黒ドット512、514、516、518及び520で示す5つのコンタクトホールを有し、522で示す位置のコンタクトホールが欠落している。被検画像524は526、528、530、532、534及び536の位置の黒ドットで示されたコンタクトホールを有する。ステップ538で、被検画像524は基準画像510と位置合わせされる。このアラインメントは、図示説明の便宜上画像510と524の互いに重なる領域を示す破線のボックス540と542で示してあり、例えば特徴要素512は特徴要素526と対応し、特徴要素514は特徴要素528と対応し、特徴要素516は被検画像中に対応する特徴要素がなく、特徴要素518は特徴要素532と対応し、特徴要素520は特徴要素534と対応し、522で示す位置は特徴要素530と対応している。被検画像524の特徴要素536は基準画像510中に対応する特徴要素がない。これらの画像からステップ544及び546で特徴要素が抽出される。画像から

抽出された特徴要素には、抽出後の特徴要素として識別される特徴要素であることを指示するための番号が付される。このステップでは、基準画像の特徴要素番号と被検画像の特徴要素番号との間で一致が見られない。

【0018】図20A乃至20Fは、本発明による特徴要素マッチングプロセスを図解したものである。図20Aは、コンタクト2005及び2010のようなウェーハのコンタクトを表す複数の特徴要素を有する基準画像の一部を示し、各特徴要素の中心点と境界がそれぞれx印と円で示されている。図20Bは、同じくウェーハのコンタクトを表す複数の特徴要素を有する被検画像の一部を示し、各特徴要素の中心点と境界がそれぞれx印と円で示されている。図20Cは、被検画像の特徴要素を基準画像の特徴要素と比較する際の偏りやずれの許容限界を各特徴要素を囲むもう一つの円で指示した基準画像を示す。図20Dは、図20Bの被検画像を図20Cの基準画像に重ねた状態を示す。小さいアラインメント誤差が認められる。被検画像の1つの特徴要素、すなわち特徴要素2015の中心が特徴要素2010の許容偏り限界の外側にあることが分かる。また、基準画像の中心にある特徴要素、すなわち特徴要素2020は被検画像中に対応する特徴要素がないということ分かる。図20Eは、マッチングプロセスで「マッチ」した特徴要素を示す。図20Fは、マッチングプロセスで「欠陥」と識別された特徴要素を示し、特徴要素2020に関しては特徴要素欠陥欠陥が報告され、特徴要素2010に関しては、被検画像の特徴要素2015が許容偏り限界外にあるので、特徴要素偏り欠陥が報告される。欠陥が特定された後は、オペレータ等の観察者にそれらの欠陥を見易くするために、被検画像と共にコントラストカラーのようなコントラストオーバーレイを表示するようにしてもよい。

【0019】特徴要素を識別し、番号を付けることに加えて、抽出された特徴要素の特性が調べられる。特徴要素が抽出されたならば、それらの特徴要素の1つ以上の特性を計算することは簡単なコンピュータプロセスである。これらの特性としては、面積、サイズ、形状、重心、平均強度（これはショットノイズ制限電子ビーム画像でのノイズ低減にとって特に重要である）、強度の和及び強度の標準偏差等がある（ただし、これに限定されるものではない）。表1は、特徴要素の重心の座標（x、y）、面積（A）及び平均画素強度（I）のような一部の特徴要素特性の例を示したものである。表中の値は、図示説明のためのものであり、必ずしも図5の画像に合わせて倍率調整されてはいない。

【0020】

【表1】

表1 (抽出特徴要素)

基準画像510					被検画像524				
特徴量	x	y	A	L	特徴量	x	y	A	L
R1	1.2	1.1	3.0	40	T1	1.3	1.0	2.0	44
R2	5.2	1.0	3.5	45	T2	5.4	1.1	2.5	81
R3	6.2	3.1	3.0	50	T3	3.2	3.0	2.0	50
R4	1.2	5.1	2.5	42	T4	1.3	5.0	2.5	54
R5	5.3	5.1	3.0	48	T5	5.2	5.0	3.0	52

ステップ548では、特徴要素がマッチングされる。例えば、特徴要素512～520は基準画像510の特徴要素R1～R5であると識別されるが、522で示す位置には特徴要素がない。特徴要素526～534は、被検画像524の特徴要素T1～T5であると識別される。基準画像510の特徴要素R1、R2、R4及びR5はそれぞれ被検画像524の特徴要素T1、T2、T4及びT5とマッチする。基準画像510の特徴要素R3は、被検画像524の視野外にあるので、被検画像524には対応する特徴要素がない。被検画像524の特徴要素T3は、基準画像510では欠落しており、基準画像には対応する特徴要素がない。

【0021】表2は、マッチが見られた特徴要素の特性を比較した簡単な例を示す。基準画像の番号が付けられ

た特徴要素(R #)が被検画像の番号を付けられた特徴要素(T #)と比較され、基準画像の特徴要素の面積(A ref)と被検画像の特徴要素の面積(A test)との差を計算して差面積値(A dif)が得られ、A refとA testとの比を計算して面積比值(A ratio)が得られる。この比は欠陥の尺度として用いることも可能であろう。例えば、この比があるスレッシュホールド、例えば1.2より大きい場合、すべて欠陥特徴要素であると見なすようにすることができよう。A ratio値がスレッシュホールド値以下でない( $A r > 1.2$ )かどうかを調べるためのチェックが行われる。

【0022】

20 【表2】



表2 (特徴要素の比較)

マッチした特徴要素:

R# - T#	Aref	Atest	Adif	Aratio	Ar>1.2	欠陥か?
R1 - T1	3.0	2.0	1.0	1.5	真	Yes
R2 - T2	3.5	2.5	1.0	1.4	真	Yes
R4 - T4	2.5	2.5	0.0	1.0	偽	No
R5 - T5	3.3	3.0	0.3	1.1	偽	No

マッチしなかった特徴要素:

R3 - T3	視野外にある	不明	不明
RX - T3	視野内で欠陥	データなし	Yes*

\* 基準画像の欠陥 (基準画像が実際のチップの画像の場合に起こり得る)

特徴要素の特性が計算された後、それらの特性は個々に、あるいはいくつか組み合わせて比較することができる。例えば、特徴要素の特性が所定量だけ異なる場合、欠陥として報告することができる。数値的には、この比較は減算、比(どちらも一般的に使用される)、不等号関数等で行うことができる(ただし、これに限定されるものではない)。特性を組み合わせると、妨害的欠陥の割合が増大することなく、欠陥検出の感度を高めることができる。例えば、特徴要素中の全ての画素の強度の和は、面積の測定値と強度の平均計算とを組み合わせたものであり、本願原出願と同日提出の米国特許出願第09/226,962号に記載されているように、微妙なグレーレベル変化を生じるが同時に(コンタクトあるいはバイアの場合のように)欠陥特徴要素の見かけのサイズを変化させる欠陥を検出するのに特に好適である。表2には、特徴要素欠陥または余分の特徴要素があると分類される欠陥も示されている。

【0023】もう一つの方法として、当の特性間の差についての平均、標準偏差及び/または線形回帰のような統計データを計算する手法がある。差の分布の標準偏差

の例えば2倍より大きく異なっている特性を持つ特徴要素を欠陥として報告するようにしてもよい。この方法によれば、特徴要素の特性間の差に固定スレッシュホールドを設定する必要がなくなる。(固定スレッシュホールドは、間違っ設定されることが起こり得、また正しく設定された場合でも、コントラストや明るさの変化のような画像の微妙な変化に適応しないので、誤差を生じやすい)他方、この場合のスレッシュホールドは統計的に有意な選択された範囲内で適応性を有する。特徴要素特性の差の平均及び標準偏差も、それ自体ウェーハの欠陥密度の尺度になる。この適応型の手法は、例えば多数の欠陥がある不良ウェーハでは標準偏差が大きく、最悪の欠陥だけが報告されないで、そのような不良ウェーハの場合に有用である。不良ウェーハでは、平均及び標準偏差自体が劣悪な歩留まりを示す。歩留まりが良いウェーハの場合、致命的欠陥は差の分布ではっきりと際立ち、欠陥として正確に報告され得る。図21は、被検画像の特徴要素の計算面積を基準画像の特徴要素の計算面積に対してプロットしたグラフの一例を示す。完全にマッチした画像は、「完全マッチ」線2100沿いにプロットされた

面積を持つはずである。2105、2110及び2115で示す面積のように線2100から大きく離れてプロットされた特徴要素の面積は、容易に潜在的な致命的欠陥として識別される。

【0024】図6は、本発明による方法を示したフローチャートである。この特徴要素ベースの欠陥検出はステップ605で開始される。ステップ610で、基準画像と被検画像、また任意の態様として、アービトレータ画像が用意される。基準画像と被検画像は、望ましい場合、あるいは必要に応じて任意にステップ615で互いに位置合わせされる。画像アラインメント方法は当技術分野において周知であり、詳細な説明は省略する。例えば、フリノイス(Flinois)他の米国特許第5,054,097号には画像を位置合わせするための技術が記載されており、米国カリフォルニア州サンノゼのシュルンベルジェ・テクノロジー・インク(Schlumberger Technologies, Inc.)社から商業ベースで入手可能!DS10000電子ビーム画像化システムのような製品は画像アラインメント能力を具備している。特徴要素はステップ620で画像から抽出される。ステップ615(アラインメント)とステップ620(特徴要素抽出)は、アラインメントアルゴリズムが抽出された特徴要素情報をアラインメントのために使用しない限り、どの順序で行っても、あるいは同時に行ってもよく、結果に影響が生じることではない。抽出特徴要素は、任意にアラインメント情報を用いて、ステップ625でマッチングされる。特徴要素はステップ630で比較されて、欠陥が識別される。それらの識別された欠陥は、任意態様としてのステップ635で報告されかつ/またはそれらの記録がセーブされる。報告は、例えば、識別された欠陥を示すコントラスト型(例えば色違いの)オーバーレイと共に特徴要素の統計データを表形式にして示す被検画像の表示あるいはプリントアウトの形であってもよい。

【0025】ステップ640では、別の画像について欠陥の有無を検査すべきかどうかの判断が行われる。判断結果がイエスならば、上記プロセスが再度ステップ610から始まって、繰り返される。判断結果がノーならば、プロセスはステップ645で終了する。ステップ610の基準画像の用意は、必要でなければ省略することができる。例えば、被検画像が検査される都度同じ基準画像が使用される場合、あるいは次のプロセスで使用される基準画像が一つ前のプロセスの被検画像である場合は、プロセス反復の都度基準画像を用意する必要はない。

【0026】図7は、ステップ7610Aで画像が読み込まれる(前に取り込まれ保存されている画像の場合)かあるいは取り込まれるステップ610の詳細な実施態様の一例を示したものである。画像は、必要ならば任意のステップ7610Bで平滑化される。また、必要なら

ば、画像は任意のステップ7610Cで正規化される。ガウス空間平滑化法のような画像を平滑化するための方法、及び画素強度正規化法のような画像を正規化するための方法は当技術分野において周知である。平滑化の目的はノイズ低減あるいはノイズ除去であるから、画像取込み時のビーム電流を増やし、時間平均を取る(空間平滑化法に対して)というような他の技術を用いてノイズを低減することもできる。

【0027】図8は、ステップ630の詳細な実施態様の一例を示したものである。ステップ8630Aで画像の特徴要素の特性が計算される。計算された特徴要素の特性はステップ8630Bで比較される。ステップ8630Cで、比較結果が欠陥基準に適合するかどうかの判断が行われる。

【0028】図9は、ステップ610、615及び620を実行することができる一つの方法を示す。ステップ9610Aでは、基準画像Rが読み取られて保存されるか、あるいは取り込まれる。基準画像Rは任意態様としてのステップ9610Bで平滑化される。ステップ9620Aでは、基準画像Rから特徴要素が抽出される。ステップ9610Cでは、被検画像Tが読み取られて保存されるか、あるいは取り込まれる。被検画像Tは任意態様としてのステップ9610Dにおいて平滑化され、任意態様のステップ9610Eで基準画像Rに対して正規化される。被検画像Tは、任意態様のステップ615で基準画像Rと位置合わせされる。ステップ9620Bでは被検画像Tから特徴要素が抽出される。

【0029】図10は、特徴要素を比較して欠陥が識別されるステップ630の詳細な実施態様の一例を示したものである。基準画像Rと被検画像Tの特徴要素特性がステップ10-630Aで計算される。それらの基準画像Rと被検画像Tの計算された特徴要素特性がステップ10-630Bで比較される。ステップ10-630Cでは、特性比較統計データが計算される。ステップ10-630Dで、それらの特性比較統計データが所定の欠陥基準に適合するかどうかの判断が行われる。

【0030】図11は、検出された欠陥に関するデータが報告されかつ/または保存されるステップ635の詳細な実施態様の一例を示したものである。ステップ11-635Aで、欠陥が識別されたか判断が行われる。判断結果がイエスならば、ステップ11-635Bで欠陥特徴要素の特性統計データが報告される。ステップ11-635Cでは、欠陥の特性統計データ及び/または他の画像情報が報告され、あるいは記憶装置にセーブされる。

【0031】図12は、別のプロセス反復モードによるもう一つの実施例を図解した詳細なフローチャートである。ステップ605で、特徴要素ベースの欠陥検出プロセスが開始される。ステップ610で基準画像と被検画像が用意される。基準画像は、ステップ12-610A

で例えば図9のステップ9610A、9610B及び9620Aと同様にして用意される。これらの画像は任意態様のステップ615で互いに位置合わせされる。特徴要素がステップ620で抽出される。これらの特徴要素はステップ625で互いにマッチングされる。ステップ630では特徴要素が比較して欠陥が識別される。欠陥データが任意態様のステップ635で報告されかつ／またはセーブされる。このプロセスが次のようにして繰り返される：動作方式が基準画像、次に被検画像、次いで基準画像、次に被検画像というように交互パターンRTRT...で走査する方式の場合は、各プロセス反復毎にステップ12-610Aが実行される。動作方式が、基準画像を1回だけ走査した後、逐次パターンRTT...で複数の被検画像と比較する方式の場合は、各プロセス反復はステップ12-610Bで開始される。全ての画像が検査されたならば、特徴要素ベースの欠陥検出はステップ640で終了する。この検査ランの欠陥検出結果は、ステップ1245で報告されかつ／または保存される。そして、プロセスはステップ1250で終了する。

【0032】図13は、ステップ9620Aで基準画像Rから特徴要素を抽出する詳細な実施態様の一例を示す。基準画像Rの平均背景レベルがステップ13-9620A1で計算される。ステップ13-9620A2で、基準画像Rの画素強度から背景レベルが除去されて第1の修正基準画像R1が生成される。電圧コントラスト画像は均一のコントラストを持たないものもあるもので、背景レベルの除去は任意の態様として行われる。コントラストが均一でないと、まず背景の画素強度レベルを減算あるいは正規化することなく単純な画素減算アルゴリズム使用した場合に、疑似欠陥が報告される結果が起こり得る。背景は特徴要素間の画像の部分である。通常、欠陥検出が行われる対象のウェーハの特徴要素は、導線、パイアあるいはコンタクトのような導体部である。これらの特徴要素を取り囲む部分は通常誘電体で、今日では大部分がSiO<sub>2</sub>である。ウェーハの画像の背景部分はこの誘電体を表す。ウェーハ表面の不均一な帯電によって生じるアーティファクトは、その結果として僅かに異なる表面電位を生じさせ、そのために画像の全体にわたって背景強度が変化する結果がもたらされることが時々ある。背景画素強度を除去あるいは正規化すると、特徴要素抽出の頑強性が改善され得る。この明細書において、「背景」除去という用語は、背景レベルの減算または背景レベルの正規化、あるいは不均一な画像のコントラストを補償するための他の何らかの適切な技術をすべて包含する意味で用いられる。第1の修正基準画像R1の画素はステップ13-9620A3でスレッシュ

される。一般に、背景除去の目的は特徴要素を強調することにある。特徴要素強調のための技術は他にも周知である。例えば、抽出しようとする特徴要素が長い直線で構成されている場合は、特徴要素抽出の前に画像に対してエッジ強調を行うことができる。

【0033】図14は、ステップ9620Bで被検画像Tから特徴要素を抽出する詳細な実施態様の一例を示したものである。被検画像Tの平均背景レベルがステップ14-9620B1で計算される。ステップ14-9620B2で被検画像Tの画素強度から背景レベルが除去されて第1の修正被検画像T1が生成される。ステップ14-9620B3で第1の修正被検画像T1の画素がスレッシュ

10  
20  
30  
40  
50  
【0034】図15は、ステップ9620Aで基準画像Rから特徴要素を抽出するもう一つの実施例を示したものである。任意態様のステップ15-9620A1で基準画像Rの平均背景レベルが計算される。この背景レベルは、ステップ15-9620A2で基準画像Rから除去される。次に、ステップ15-9620A3で、特徴要素テンプレートが基準画像（あるいは背景レベル除去後に得られた画像）にマッチングされる。あるスレッシュ

【0035】図16は、ステップ9620Bで被検画像Rから特徴要素を抽出するもう一つの実施例を示したものである。被検画像Tの平均背景レベルが任意態様のステップ16-9620B1で計算される。ステップ16-9620B2で基準画像Rの画素強度から背景レベルが除去される。次に、ステップ16-9620B3で特徴要素テンプレートが被検画像（あるいは背景レベルの除去後に得られた画像）にマッチングされる。ステップ16-9620B4で、あるスレッシュ

【0036】図17A、17B、17C及び17Dは、本発明による特徴要素ベースの欠陥検出の一実施例のフローチャートを示す。まず図17Aを参照して、この実施例の欠陥検出プロセスはステップ1700で開始される。このプロセスは、任意のオペレーティングシステム・ソフトウェア、例えば、ウィンドリバー・システムズ（WindRiver Systems）社から商業ベースで入手可能なVxWorksオペレーティングシステム・ソフトウェアを使用するコンピュータシステム上で実行することができる。ステップ1702で、どの基

準画像と被検画像とを比較するかや、フラグ等のような実行パラメータがダウンロードされる（すなわち、プロセスがそれらのパラメータを受け取る）。ステップ1704で、被検画像と比較される基準画像があるかどうかのチェックが行われる。プロセスは開始されたばかりであり、比較に使用される少なくとも1つの基準画像があるから、制御はステップ1706に移る。ステップ1706では、例えばバルクメモリ1708あるいはディスク1710から前処理済みの基準画像がプロセスによる使用のためにロードされる。バルクメモリは、大容量の高速ランダムアクセスメモリである。ステップ1712で、基準画像がロードされたことを確認するためのチェックが行われる。基準画像がロードされていなければ、ステップ1714で基準画像がないという報告がなされ、制御はステップ1770（図17D）に移る。基準画像がロードされていれば、ステップ1716で他に処理すべき被検画像があるかどうかの判断が行われる。

【0037】図17Bのステップ1716で、それ以上処理すべき被検画像がなければ、制御はステップ1770（図17D）に移る。他に処理すべき被検画像がある場合は、ステップ1718で、画像走査バッファのようなライブ画像ソース1720から、あるいはバルクメモリのような記憶画像ソース1722から被検画像がロードされる。ステップ1724で、被検画像がロードされたかどうかのチェックが行われる。被検画像がロードされていなければ、ステップ1726で被検画像がないという報告がなされ、制御はステップ1770（図17D）に移る。被検画像がロードされている場合は、図17Cのステップ1728で、被検画像を前処理するべきかどうかの判断がチェックが行われる。チェック結果がイエスならば、ステップ1730で前処理が行われ、制御はステップ1732に移る。ステップ1732では、基準画像と被検画像が既に位置合わせ済みかどうかのチェックが行われる。（画像は、ステージ精度及び再現性に基ついて、またはシュルンベルジェ（Schlumberger）のIDS10000電子ビーム画像化システムの電子ビーム画像化サブシステムのようなアナログ・スキャンジェネレータの動作によって、あるいはデジタル・スキャンジェネレータ（“DSB”）によって既に位置合わせ済みになっている場合もある。）チェック結果がイエスの場合、制御はステップ1742に移る。ノーの場合は、ステップ1734で粗調アラインメントが行われる。ステップ1736では、その粗調アラインメントが十分であるかどうかのチェックが行われる。チェック結果がイエスの場合は、アラインメント・パラメータがステップ1738で更新されて、ステップ1740で、ファイルにセーブされかつ／または制御コンピュータ（例えば、WindStar Systems, Inc. 社のVxWorksのようなリアルタイム・オペレーティングシステムを走らせる制御コンピュ

ータ、あるいはリアルタイム・オペレーティングシステムがない場合は、制御コンピュータはミザル（Mizar）シングルボード・コンピュータのようなシングルボード・コンピュータであってもよい）に送られ、制御はステップ1742へ移る。ステップ1742で、その粗調アラインメントが良好かどうかのチェックが行われる。チェック結果がイエスならば、ステップ1744で、“Aligned”フラグ（アナログ・スキャンジェネレータ使用の場合）または“DSB Aligned”フラグ（デジタル・スキャンジェネレータ使用の場合）がセットされる。ステップ1746では、画像の微調アラインメントを行う必要があるかどうかのチェックが行われる。チェック結果がノーならば、制御はステップ1750（図17D）に移る。イエスならば、ステップ1748で基準画像と被検画像との微調アラインメントが行われた後、制御はステップ1750（図17D）に移る。

【0038】次に、図17Dを参照して説明すると、ステップ1750で被検画像から特徴要素が抽出され、ステップ1752でローカルメモリに記憶される。基準画像の特徴要素がステップ1754でローカルメモリから取り出され、ステップ1756で被検画像の特徴要素とマッチングされる。ステップ1758で、特徴要素を比較することによって欠陥が検出される。それらの欠陥は、ステップ1760でローカルメモリのようなメモリに記憶される。ステップ1762では、ステップ1758で識別された欠陥を示す例えば2値画像あるいはグレースケール画像の形で「欠陥画像」が計算により生成される。欠陥の性質や量についての統計情報のような欠陥結果がステップ1766で計算される。それらの欠陥結果は、ステップ1768でバルクメモリ等に記憶される。ステップ1770では、更新欠陥報告が生成される。欠陥結果と画像は、ステップ1772でバルクメモリに記憶されかつ／またはステップ1774でディスク記憶装置に記憶される。

【0039】図18A乃至18Hは、本発明の方法に基づくスレッシュールド値との比較処理法による特徴要素抽出過程を図解したものである。この例においては、スレッシュールドレベル以上の強度値を有する画素のみが特徴要素の一部であると見なされる。図18Aにおいて、グレースケール画像1800には、背景強度に対して相対的に「明るい」ように見える特徴要素1805のようなコンタクトの特徴要素の視野が入っている。図18Bでは、1810画像の3次元図に、画素強度が第3次元にプロットされた特徴要素の視野が示されている。これらの特徴要素を横切る平面1815が画素強度に適用されるスレッシュールドを表している。図18Cは、一列の特徴要素を横切る線に沿って強度をプロットした図で、画素のグレースケール強度を示す。1820の画素強度スレッシュールドは、この画像で特徴要素領域と特徴要素外

領域とが如何に容易に見分けられるかを示している。特徴要素1825のエッジ部が符号1830及び1835で示す部分に見られる。このスレッシュホールドのレベルは、特徴要素のエッジ部をどこに設定するかに影響する。図18Dは、スレッシュホールド値との比較処理後における図18Cの特徴要素を示す。図18Eは、結果的に得られる画像で、特徴要素が2値形式の値を有する画素によって定義される画像を示す。図18Eに示す結果の画像は、例えばブロッツ分析演算により、あるいは識別された2値形式特徴要素マップをマスクとして用いる等によって、図18Aのグレースケール画像と結合されて、出力画像を定義するブロッツ特徴要素のリストが生成される。例えば、ブロッツ分析演算は、“matrox\_blob\_calculate(E, A, linked\_list\_of\_blob\_features)”のようなコマンドを用いてMatroxイメージングライブラリにより得られるようなものであってもよい。ここで、“E”及び“A”は、それぞれ図18E及び18Aの画像を表す入力データである。図18Fは、図18Dの特徴要素がブロッツ分析及びT1-T3のよう

な特徴要素番号割り当て後にどのように見えるかを示したものである。図18Gは、識別された特徴要素T1-T6を示す出力画像の図である。図18Hは、ブロッツ分析演算によって生成されるデータ構造を示し、このデータ構造では特徴要素が特徴要素番号によって、また画像中のxy座標位置、面積及び強度のような特性によって識別される。特徴要素特性は、必要に応じて比較、保存及び分析を行うことができる。

【0040】スレッシュホールド値との比較処理法は、例えばグレーの背景上に非常に暗いコンタクトがあるという

10

20

30

40

50

【0041】図22A乃至22Cは、本発明の方法に基づく適応型スレッシュホールド値比較処理法による特徴要素抽出を図解した説明図である。図22Aは、不均一なあるいは勾配を持つ背景コントラスト上でダーク部分として現われるコンタクトホールを持つパターン形成済み基板の電圧コントラスト画像のプロファイル2205を示す。プロファイル2205は、3つのコンタクトホールと交わる直線に沿ってx軸方向で画像コントラストをプロットした曲線である。不均一なあるいは勾配を持つ背景コントラストは、例えば誘電体の不均一な帯電によって起こり得る。プロファイル2205のディップ2210、2215及び2220はそれぞれコンタクトホールを表す。図解説明のため、図22Aには非適応性型の固定されたスレッシュホールド2225も示してある。固定スレッシュホールド法の制約は、プロファイル2205がスレッシュホールド2225を横切る各点でレベルが変わるが、コンタクトホール位置を正確に表してはいない2値表現曲線2230で視覚的に理解することができる。図22Bは、プロファイル2205の平滑化によって生成される適応スレッシュホールドのプロファイル2235を示す。図22Cは、プロファイル2205上に重ね合わせた適応スレッシュホールドプロファイル2235を示す。適応スレッシュホールド法の長所は、プロファイル2205がスレッシュホールド2235を横切る各点でレベルが変わり、かつコンタクトホール位置を正確に表す2値表現曲線2240で視覚的に理解することができる。

【0042】上記のスレッシュホールドとの比較処理法に代えて、あるいはこれと組み合わせて画像モデルマッチング法を用いることができる。この方法では、特徴要素がある位置を特定するのに、画像強度を使うのではなく、抽出しようとする特徴要素のモデルが用いられる。この方法の簡単な例は、特徴要素モデルを画像と相関させて相関画像を生成することである。相関画像は、強度レベルスレッシュホールドの代わりに相関レベルスレッシュホールドを用いてスレッシュホールド値と比較処理されることにより、特徴要素が特定される。その後、画像中の特徴要素のエッジ部がパターンマッチング技術を用いて検出される。パターンマッチング技術は、例えばアール・ハーリック(R. HARALICK)他の「コンピュータとロボット視覚(COMPUTER AND ROBOT VISION)」、巻2、アディソン・ウェスリー(Addison Wesley (ISBN0-201-56943-4))より公知であり、同書の内容はここで言及することにより本願に援用される。パターンマッチング・ソフトウェアプログラムは、マトロックス・リミティッド(Matrox Limited)社のMatroxイメージングライブラリ(Matrox Imaging Libraries)及びコグネックス・コーポレーション(Cognex Corporation)のPatMaxソフトウェアに入っており、商

業ベースで入手可能である。また、モデルが、物理画像モデルではなく、組み合わせてマッチングしようとする特徴要素の理想化（合成）モデルを形成することができる単純な幾何学形状（矩形、円、環形、直線）で構成される合成モデルマッチング法を使用することもできる。合成モデルの一例としては、例えば暗い環形（ダークリング）とこれより小さくて明るい円で形成される「ドーナツ」が考えられる。この例では、モデルマッチング・プロセスは、例えば：1. 画像中の全ての「ダークリング」を見つける；2. 全ての「明るい円」を見つける；3. 「ダークリング」中の全ての「明るい円」を見つける；という3つのステップよりなる。この方法によれば、明るい部分が暗い部分の中にありさえすれば、「ドーナツ」様特徴要素の領域全体を特徴要素の明るい部分と暗い部分との間の正確な関係を知る必要なく抽出することができる。

【0043】図19A乃至19Gは、本発明の方法に基づくモデルマッチング法による特徴要素抽出プロセスを図解した説明図である。図19Aにおいて、グレースケール画像1900には特徴要素1905のようなコンタクト特徴要素の視野が入っている。例えば特徴要素1910のような特徴要素がモデルとして選択される。図18Bでは、1915の位置にある画像の3次元図に、画素強度が第3次元に表された特徴要素の視野が示されている。図19Cは、欠陥コンタクトの特徴要素1920を含み、相関のためにモデル特徴要素1925がオーバーレイされた特徴要素の視野を示す。図19Dは、線19D-19Dに沿って切断した図19Cの画像の矢視図で、各特徴要素とモデル特徴要素1925との相関が示されている。相関ピーク1930と1935は $>0.9$ という相関を示している。相関ピーク1940は、モデル特徴要素1925と欠陥コンタクトの特徴要素1920との間には部分相関しかないことを示している。図19Eは、特徴要素1945及び1950のような特徴要素1925と $0.9$ 以上の相関があるモデル特徴要素の中心点を示す画像である。破線1955で示す部分は部分的にしか形成されていないコンタクトの特徴要素1920の位置と対応するが、特徴要素1920は、そのモデル特徴要素1925との相関が $0.9$ 以下であり、そのために欠陥らしいと識別されるので、図19Eには表

されていない。

【0044】図19Fは、微分法あるいは特徴要素エッジを明確化するための他技術を適用した後における図19Eの特徴要素のエッジ部を表した説明図である。例えば、画像微分（あるいはエッジ強調）フィルタを使用して画像中のエッジ部を強調することができる。微分画像から極大と極小を決定することによって特徴要素を抽出することができる。これらの極大と極小の輪郭によって囲まれた境界は当の特徴要素の境界であり、特徴要素リストを生成するために使用することができる。図19G

は、図19Eの中心点情報及び図19Fの特徴要素エッジ情報を用いて元の画像、例えば、図19Aの画像からの特徴要素の抽出プロセスを示す。特徴要素の中心点1960とエッジ1965が既知ならば、エッジ1965の境界内にあって点1960に中心がある図19Aの画像から画素1970をグルーピングすることにより特徴要素が定義されたと考えられる。図19Gの抽出プロセスを検出された各特徴要素について繰り返すことにより、比較のための特徴要素のテーブルあるいはリストが生成される。このリストは実質的に、例えば図18Hに示されたようなものであってもよい。

【0045】本願で説明する技術は、半導体ウェーハ上の $0.25\mu\text{m}$ プロセスでタングステン入りパイアの視野中の欠陥検出を自動化するのに好適であることが実証されている。パターンは反復性があるので、人間の目は欠落しているパイアや一部しか形成されていないパイアを非常に用意に見つけだすことができる。このような画像について画素減算法によりオートメーションを行うと、背景とコンタクトのエッジとの間の微妙かつ些細な差のためにノイズが多い差画像が生じ、非常に多数の妨害的欠陥が報告される結果になる。この妨害的欠陥の割合は、通常、画像をほぼ100%オペレータによって検査しなければならないほど非常に高く、従来技術の画素ベースの差を取る方法を用いては自動欠陥検出プロセスが実際上役に立たなくなる。これに対して、本発明による特徴要素ベースの検出技術は、人間の介在なしにパイアやコンタクトのような要素のフィードスルーの欠落や部分欠落を識別することができ、妨害的欠陥の報告がほとんど、あるいは全くでないということが確認されている。

【0046】本願で使用する用語の定義は下記の通りである：

パターン形成済み基板：半導体ウェーハあるいはフォトリソグラフィ・マスク。実施例の説明はパターン形成済み半導体ウェーハとの関連で行うが、本願記載の技術は、適切な荷電制御手段を有する電子ビーム画像化システムのような適切な画像化技術によって取り込まれたフォトリソグラフィ・マスクの画像の特徴要素についても適用することができる。

パターン形成済み：パターンが形成されていること。パターンは、どのようなものを表したものでもよく、最初のウェル拡散構造、コンタクト、パイア、ポリシリコンゲート構造、局部相互配線、金属（アルミニウムあるいは銅）相互配線、パワープレーン、ボンドパッド及びこれらの組合せのパターンが含まれるが、これに限定されるものではない。また、パターンは酸化膜あるいは他の誘電体中の二重ダマシントレンチのような特徴要素を表すものであってもよい。また、パターンは標準的な、あるいはトポグラフィSEM画像のようなフォトレジストを表すものであってもよい。



画像：オブジェクトを表す画素のアレイまたは画素データ。アレイは、均一なサイズと間隔の画素を有し、画素サイズが画像化される特徴要素より小さく、例えば特徴要素の端から端まで2～5画素の2次元アレイでもよいが、これに限定されるものではない。画像は、画素間隔が不均一でもよく、例えば、本願と同時係属の米国特許出願第09/012,277号（代理人事件整理番号65,0255P1）に記載されている線走査あるいは線分走査のように、一方向の画素間隔がその直交方向の画素間隔の何倍も大きくてよい。画像は断層撮影画像のような三次元画像の場合もある。

電圧コントラスト画像：強度信号（例えば画素強度）が画像化されるオブジェクト、例えばパターン形成済み半導体ウェーハあるいはパターン形成済みフォトリソグラフィ・マスクの表面上の電圧または電位の関数である画像。この関数は、理想的には線形関数であるが、一般には非線形である。この関数は、必ずしもそうではないが、通常は単調関数である。

基準画像：被検画像との比較に使用される画像。基準画像は、同じウェーハ上にあるいは異なるウェーハ上にある別のチップまたはセルあるいはブロックの画像であってもよい。基準画像は、既知品質のチップまたはセルあるいはブロック、例えば「金製」チップまたはセルあるいはブロックの画像でもよく、例えばアービトレーションのために第3のチップまたはセルあるいはブロックが使用される場合等においては、品質不明のチップまたはセルあるいはブロックの画像であってもよい。また、基準画像は、比較される被検画像と同じあるいは類似の倍率のものでも、あるいは如何なる倍率のものであってもよい。基準画像は、電圧コントラスト画像でも、集束イオンビーム（FIB）画像、原子間力顕微鏡（AFM）画像、トポグラフィ走査電子顕微鏡（SEM）画像あるいはコンピュータ支援設計（CAD）データベースで作成された画像のような他の種類の画像であってもよい。あるいは、基準画像は特徴要素のリスト及びそれらの特徴要素の対応特性（位置、サイズ、形状、強度、強度、接地か浮動か、あるいは接続性のような他の特性）が書き込まれたデータ構造であってもよい。

被検画像：パターン形成済み半導体ウェーハあるいはパターン形成済みフォトリソグラフィ・マスクのような検査しようとする物理試料から取り込まれた画像で、基準画像と比較される。被検画像は、チップまたはセルあるいはブロックの画像であってもよい。被検画像は電圧コントラスト画像でも、あるいは集束イオンビーム（FIB）画像、原子間力顕微鏡（AFM）画像またはトポグラフィ走査電子顕微鏡（SEM）画像のような他の種類の画像でもよい。

特徴要素を抽出する：画像（画素のアレイあるいは画素データ）をリンクリストのようなデータ構造として表される特徴要素のリストに変換すること。画像中の隣り合

う画素の集まりとして表される検査対象の物理オブジェクトのアーティファクトは、特徴要素抽出後、そのアーティファクトの特性によって表される。特徴要素は、例えば、コンタクトまたはコンタクトホールあるいは導体及び／またはパターン形成済み半導体ウェーハの他の物理構造であってもよい。特性は、画像で表された特徴要素の直径、面積、強度及び位置のような尺度、及びブロッアップ分析の分野で周知の他の尺度であってもよいが、これらに限定されるものではない。これに限定されるものではないが、計算することができる特性例のリストがMatroxイメージングライブラリ・コマンドのコマンドレファレンス、バージョン3.1、マニュアルNo. 10368-MS-0310 (Matrox Electronic Systems Ltd.)に記載されている。抽出は、スレッシュホールドとの比較処理法を用いることもできるし、非スレッシュホールド方式の技術を用いることもできる。

特徴要素をマッチングする：被検画像と基準画像から抽出された特徴要素を処理あるいは対合すること。特徴要素は、基準画像の場合のリストと被検画像の場合のリストでは特徴要素が必ずしも同じ順序でリストされないデータ構造、例えばリンクリストとして記憶されるかまたは表される。（特徴要素抽出順序は、ステージ位置の相対誤差を含めて、種々の要因により変化し得る。）被検画像と基準画像の特徴要素は、従って、データ構造をオーバーレイすることによってマッチングすることはできない。そのために、マッチングは、画像アラインメント偏りに関して必要に応じて修正された（例えば、画像アラインメントアルゴリズムの結果を用いて）特徴要素の物理位置（例えばx, y座標位置）に基づいて行われる。マッチングでは、視野外にある（例えばステージ誤差の故に）ためでも、あるいはウェーハ処理誤差（すなわち欠陥）のためでも、画像中で欠落している特徴要素が考慮に入れられる。

特徴要素を比較して欠陥を特定する：特徴要素が抽出された後、特徴要素の1つ以上の特性を計算プロセスによって計算し、それらの計算された特性の値を比較すること。特性としては、例えばサイズ、形状、平均強度（これはショットノイズ制限電子ビーム画像におけるノイズ低減のために特に重要である）、重心、直径、面積及び標準偏差等がある（ただし、これらに限定されるものではない）。1つあるいは複数の特性を組み合わせることで比較することができ、特徴要素特性が所定量だけ差があると、欠陥が報告される。この比較は、減算、比計算、不等号関数、あるいはその他の数学的比較のような数値演算であってもよい。特性を組み合わせることで、妨害的欠陥の割合が大きくなることなく欠陥検出感度を高めることができ、例えば、特徴要素中の全ての画素の和を面積及び平均強度の尺度と組み合わせると、微妙なグレーレベル変化を生じる一方で特徴要素の見かけのサイ

ズも変化させる（コンタクトあるいはバイアの場合のように）欠陥を検出するのに特に効果的である。もう一つの方法は、特性間の差について統計データ（平均、標準偏差及び／または線形回帰のような）を計算することである。差が差の分布の標準偏差の例えば2倍より大きい特徴要素は欠陥として報告される。このような適応スレッシュホールド法によれば、固定された限界を設定しなくて済み、従って統計的に意味のあるの所望の範囲内でスレッシュホールドを適応させられる。特徴要素の差の平均と標準偏差は、それ自身欠陥密度の尺度である。線形回帰法を使用する場合は、回帰線に対する統計偏差も欠陥密度を測定するために利用することができる。

背景レベル（背景除去）：電圧コントラスト画像の中には、均一のコントラストを持たないものがある。この不均一性があることから、背景レベルの除去（つまり、減算または正規化）を行わずに単純な画素減算アルゴリズムを使用すると結果的に疑似欠陥が招かれる可能性がある。半導体ウェーハの特徴要素は、一般に導体、すなわちワイヤ、バイアあるいはコンタクトであり、これらの特徴要素を囲む領域は、通常、SiO<sub>2</sub>等の誘電体である。背景は、特徴要素間の画像領域であり、誘電体を表す。不均一に帯電しているアーティファクトは、しばしば、わずかに異なる表面電位をもたらし、その結果、画像全体にわたって背景の強度レベルが変化することがある。背景レベルを除去あるいは正規化すれば、特徴要素抽出の頑強性が改善される。

特徴要素テンプレート：特徴要素抽出を補助する特徴要素（例：コンタクト）。一例を挙げれば、マッチング・フィルタ理論を使用し、抽出すべき特徴要素のタイプと同一もしくは類似のインパルス応答を有するフィルタを適用することによって画像から特定タイプの特徴要素を抽出することができる。特徴要素は、画像の特徴要素と特徴要素テンプレートの間の相関応答を微分することにより、強い相関もしくは最大の相関がある場所として識別される。つまり、特徴要素を特徴要素テンプレートとの相関として識別すれば、スレッシュホールド比較を使用することによって、あるいは二次微分を演算し、勾配の最大値を使用してサイズを決定することによって、そのサイズを抽出することができる。たとえば、1つのコンタクトを含む画像を、多数のコンタクトを含む画像と相関させる。これらのコンタクトは、特徴要素テンプレートとの高い相関があることからコンタクトとして識別される。

アービトレーション：前述したように、基準画像と被検画像の間において比較を実行することができる。基準画像には、被検画像より欠陥の可能性の低いチップによるものを選び、たとえばウェーハの中心に近いチップは、ウェーハのエッジに近いチップより欠陥の可能性が低いことから、それを基準画像として使用する。その場合、被検チップは、欠陥を有する可能性の高い領域に含まれ

ることになる。しかしながら、基準チップが欠陥を有する可能性がないわけではない。一般に、いずれの画像が欠陥であるかを一義的に決定することは不可能であり、アービトレーションのために第3の画像が必要となる。アービトレーションは、欠陥検出プロセスと組み合わせて、あるいはポストプロセスとして実行することができる。基準画像と被検画像の間の比較によって欠陥を検出した後、第3の画像（配列モードにおいてセルごとの比較を行う場合には第3のセル）との比較によりアービトレーションを実行し、基準画像と被検画像のうちいずれが欠陥を有しているかを判断する。配列モードにおいては、特徴要素が抽出され、同一画像内の隣接セルにおける対応する特徴要素と比較される。なおこのアービトレーションは、たとえばCADデータベースから生成された基準画像を用いる場合には不要である。

【0047】図23Aないし図23Dおよび図24を参照して配列モードの一例を説明する。配列モードのオペレーションは、メモリ・セル等の構造において反復している性質を利用する。配列モードにおいては、メモリ・セル等の反復構造がその近傍で比較されて欠陥が検出される。図23Aないし図23Dに示した例においては、被検画像を隣接セル等の近傍のセルとすることができ、配列モードのオペレーションは多数の方法により具体化が可能であり、それには1セルごとの画像のシフトによる方法、あるいは図24のフローチャートに示されるようにセルの繰返しに基づいて特徴要素のマッチングを行う特徴要素マッチング・ルーチンの使用による方法が挙げられる。図23Aは、反復セル2305の例を示しており、このセルはコンタクトならびにコンタクト・ホールといった複数の特徴要素を有する。図23Bは、図23Aに示したセルが反復されている画像であり、それにおいてセルは誤りなく反復されている必要がある。セル2310および2315等の隣接セルからの特徴要素は、欠陥を識別するための比較に使用することができる。セル2320は、2325として示したコンタクトの欠陥があり、これは欠陥として検出されなければならない。図23Cは、セル2320にコンタクトの欠陥を伴う、図23Bに示したセルが反復するパターンである。図23Dは、同一の画像であるが、セル2330とセル2320の比較を可能にすべく1セルだけ右にシフトしている。

【0048】図24は、セルごとの比較を実行して欠陥を検出する配列モード法を表すフローチャートである。この配列モードにおいては、各セルが2回の比較に関係することから、すなわち實際上、左側および右側とそれぞれ比較されることから、欠陥が二重にカウントされる。たとえば、ある比較において特徴要素の過多として現れる微小欠陥は、続く比較において特徴要素の欠陥として現れることになり、ともに、アービトレーション（前述）を使用していずれのセルが真の欠陥を有してい

10

20

30

40

50

るかを識別しない限り、欠陥についての誤った報告がなされる可能性を有する。この方法は、ステップ2410から開始する。ステップ2420においては、反復配列構造の画像が取り込まれる（または、すでに取り込みを完了していればメモリその他の記憶装置から読み出される）。ステップ2430においては、取り込みもしくは読み出しを行った画像に対して、たとえば平滑化を施すことによりノイズを減少する。ステップ2440は、画像から特徴要素を抽出する。ステップ2450においては、セルの繰り返しオフセットを使用してセルごとの特徴要素マッチングが行われる。ステップ2460においては、対応する特徴要素どうしが比較される。ステップ2470においては、アービトレーションを行って、事実上、双方向に交互に行うことになるセルのシフトによってもたらされる欠陥の二重カウントを除去するが、このステップは必須ではない。ステップ2480においては、特徴要素が比較され、欠陥が報告される。ステップ2490から制御はステップ2420に戻り、続く画像の処理を繰り返す。すべての画像の処理を完了するとこれにおいてこの方法を終了する。

【0049】図2のシステムに一例を示した電子ビーム画像処理システムは、データ保存するプロセッサによってコントロールされる。本発明に準じた方法は、任意形式のコンピュータ・プログラム・プロダクトに具体化されたアプリケーション・コード（コンピュータ可読命令）をこのプロセッサが実行することによって実施される。コンピュータ・プログラム・プロダクトは、コンピュータ可読コードを保存あるいは移動すべく構成されたメディア、あるいは場合によってはコンピュータ可読コードが埋め込まれているメディアを備える。このコンピュータ・プログラム・プロダクトの一例としては、CD-ROMディスク、ROMカード、フロッピーディスク、磁気テープ、コンピュータのハードドライブ、ネットワーク上のサーバ、および搬送波が挙げられる。ここで説明した比較機能は、電子ビーム画像処理システムのプロセッサにおいて実行し得るが、望まなければ他のコンピュータ・システム上で実行することもできる。前述のシステムは、例示のみを目的としたものである。任意のタイプのコンピュータ・システムあるいはプログラミングないしはプロセッシング環境を有する荷電粒子ビーム・システムにおいて本発明に準じた方法を具体化することも考えられる。

【0050】画像から特徴要素を抽出する方法は、ここに示した例に限定されない。当分野において周知の方法に適したものがあれば、それを使用してもよい。本発明に準じた方法ならびに装置の具体化に有用な、画像の特徴要素（当分野においては「プロブ」と呼ばれることもある）の抽出、解析、および認識のためのテクニックはよく知られており、こういったテクニックを具体化するためのコンピュータ命令のライブラリも市場から入手で

きる。この種のライブラリの一例として、メイトロクス・エレクトロニック・システムズ（Matrox Electronic Systems Ltd.）の「メイトロクス・イメージング・ライブラリ（Matrox Imaging Library）」（例：バージョン3.1）があり、メイトロクス・マニュアル番号10368-MS-0310「命令リファレンス」に記述されている機能を有する。

【0051】概して特徴要素抽出は、画像内の所定の一特徴要素をくまなく識別し、かつ位置を特定するために使用される。画像をスキャンし、画像内にある当該所定特徴要素に類似のパターンのみが抽出される。これにより、画像は2タイプの領域、すなわち特徴要素の領域と特徴要素でない非特徴要素の領域に分けられる。欠陥の検出には特徴要素の領域のみを処理し、解析すれば足りる。また欠陥は、面積、サイズ、位置等の特徴要素の特性（1つないしは複数）を演算し、解析し、比較することにより検出できる。電圧コントラスト画像における特徴要素の識別に使用可能な画像処理テクニックは多数存在し、単純な画像スレッシュールド比較法、適応型画像スレッシュールド比較法、画像モデル・マッチング法、合成モデル・マッチング法および微分等によるエッジ強調法などが挙げられる。一般に特徴要素抽出技術は、画素強度値のスレッシュールド比較、特徴要素のエッジ検出、あるいはスレッシュールド比較とエッジ検出の組み合わせを基礎にする。

【0052】単純な画像スレッシュールド比較法においては、画像を特徴要素と非特徴要素に分けるため、画像のグレイ・スケール強度を使用する。同一の強度有する画像の領域もしくは同一の強度範囲に属する画像の領域は、「プロブ」にグループ化される。その後各プロブは、画像から抽出された特徴要素を表すものとして扱われる。当該画像内の残りすべては、「背景」つまり非特徴要素と見なされる。特徴要素が抽出されれば、位置、面積、平均強度、合計強度等といった特徴要素の特性を演算することができる。これらの特性は、特徴要素の特性決定に使用可能であり、また抽出した他の特徴要素の特性と比較することもできる。

【0053】ステージ・ポジショニングの精度と画像アラインメントの間にはトレードオフが存在する。被検画像、基準画像およびアービトレーション画像（使用する場合）の間の特徴要素のマッチングを正確に行うためには、一般に、これらの画像を重ねたとき、画像間のアラインメント誤差が画像内の特徴要素間の距離の2分の1より小さく（好ましくは実質的に小さく）なるように十分に正確に位置合わせを行わなければならない。それがなされないと特徴要素の対応が得られず、結果的に疑似（つまり欠陥検出システムによって導かれた誤りの）欠陥が報告される可能性がある。ここで説明した特徴要素ベースのアラインメント・テクニックは、本質的にこの

アラインメントの制約を緩和するが、それでもなおICの相互接続パターンにおける固有のパターン反復によって制限を受けることがある。しかしながら、本発明に準じた特徴要素ベースのアラインメントに求められるアラインメント精度は、画素ベースの差分法に求められるほど厳密でなく、後者においては、一般に最大許容アラインメント誤差が画像内の特徴要素サイズより実質的に小さいこと(<20%)、好ましくは単一画素より小さいことが要求される。

【0054】このアラインメント問題には、2つの実践的な解決策が使用される：すなわち、画像処理エリアの事前アラインメントを組み合わせた高精度ステージ、あるいはステージ誤差を修正する画像処理アルゴリズムを伴う低コストの低精度ステージである。ポジションのフィードバックにレーザ干渉計を使用する高精度真空室ステージはよく知られており、ニューヨーク州ロングアイランドのアノラド・コーポレーション(Anorad Corporation)等のサプライヤからも市販されている。画像アラインメント・ルーチンを含む画像処理ソフトウェアもまた、多数のソースから入手可能であるが、これらのアルゴリズムの一部には、実際の使用において、画像のオフセットが大きいとき(FOVの10%超)あるいは特徴要素が部分的に反復しているとき、アラインメント誤りのレートが許容限界を超えるものもある。コグネクス・コーポレーション(Cognex Corporation)はパターン認識ならびにアラインメント・ソフトウェアのリーディング・サプライヤであり、同社の「PatMax」プロダクトは頑強かつ信頼性が高いと見られる。それでもなお、ある程度のアラインメント誤りレートが残るが、一般にそれは1%未満となる。画像アラインメント・アルゴリズム・ベースのアプローチは、高精度ステージ・ソリューションに比べると低コストであるが、アラインメント・アルゴリズムから演算のオーバーヘッドをもたらず、約1ないし2マイクロメートルの精度のステージをアラインメント・ルーチンと組み合わせて使用した実験的実装においては、約3%のアラインメント誤りレートが示された。ただしこの値は、コグネクス(Cognex)の「PatMax」プロダクトの使用によって改善し得ると思量される。

【0055】なお、当業者であれば認識されようが、特許請求の範囲に明示する本発明の真意ならびに範囲から逸脱することなく、これらの変形ならびに他の変形が可能である。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】画像取込みを画像処理と並行して行う従来技術の方法のフローチャート。

【図2】本発明によるシステムの概略ブロック図。

【図3】本発明によるいくつかの方法を図解した高水準フローチャート。

【図4】中間製造段階の半導体ウェーハのチップの2つの電圧コントラスト画像を示す分割画面の説明図。

【図5】本発明によるコンタクトホール電圧コントラスト画像間で特徴要素をマッチさせるための方法を図解した高水準説明図。

【図6】本発明による方法を図解したフローチャート。

【図7】本発明による図6のステップ610の詳細な態様を示すフローチャート。

【図8】本発明による図6のステップ630の詳細な態様を示すフローチャート。

【図9】本発明による図6のステップ610、615及び620の詳細な態様を示すフローチャート。

【図10】本発明による図6のステップ630の詳細な態様を示す図フローチャート。

【図11】本発明による図6のステップ635の詳細な態様を示すフローチャート。

【図12】本発明による図6の方法による詳細な態様を示すフローチャート。

【図13】本発明による図9のステップ9620Aの詳細な態様を示すフローチャート。

【図14】本発明による図9のステップ9620Bの詳細な態様を示すフローチャート。

【図15】本発明による図9のステップ9620Aのもう一つの詳細な態様を示すフローチャート。

【図16】本発明による図9のステップ9620Bもう一つの詳細な態様を示すフローチャート。

【図17A】本発明による特徴要素ベースの欠陥検出方法の一実施例を示すフローチャートの一部。

【図17B】本発明による特徴要素ベースの欠陥検出方法の一実施例を示すフローチャートの一部。

【図17C】本発明による特徴要素ベースの欠陥検出方法の一実施例を示すフローチャートの一部。

【図17D】本発明による特徴要素ベースの欠陥検出方法の一実施例を示すフローチャートの一部。

【図18X】本発明による方法におけるスレッショルド値比較処理法による特徴要素抽出過程を18A~18Eで図解した説明図。

【図18Y】本発明による方法におけるスレッショルド値比較処理法による特徴要素抽出過程を18F~18Hで図解した説明図。

【図19X】本発明による方法におけるモデルマッチング法による特徴要素抽出過程を19A~19Dで図解した説明図である。

【図19Y】本発明による方法におけるモデルマッチング法による特徴要素抽出過程を19E~19Gで図解した説明図である。

【図20】本発明による欠陥検出プロセスを20A~20Fで図解した説明図である。

【図21】被検画像の特徴要素の計算面積を基準画像の特徴要素の計算面積に対してプロットしたグラフであ

る。

【図22】本発明による方法における適応スレッシュホールド値比較処理法による特徴要素抽出過程を22A~22Cで図解した説明図。

【図23】アレイモード動作の例を23A~23Dで図解した説明図。

【図24】欠陥検出のためにセル対セル比較を行うためのアレイ法を示すフローチャート。

【符号の説明】

#### 図1

105 パッチファイルをセットアップする  
110 画像取込み  
115 ディスクに保存  
116 次の画像に移行する  
130 画像アラインメント  
135 画像の濃度を取る  
140 ノイズ低減  
145 ブロップ/欠陥カウント  
150 分類  
155 欠陥を評価する

#### 図2

205 電子ビーム画像化サブシステム  
213 モータ駆動ウェーハステージ  
215 ステージ及び部屋区画を含む電子カラム  
220 画像プロセッサ  
225 データ記憶装置

#### 図3

1. ユーザがジョブプレシビを定義する  
2. 制御及び画像処理パラメータをセットアップする  
3. 画像データソース、例えばダイレクトビデオまたは  
前にディスクに保存されたデータを設定する  
4. 基準(R)画像、被検(T)画像及び任意態様として  
アービトレータ(A)画像をロードする  
5. R、T及びA画像のアラインメント(必要な場合、  
例えばアレイモードではアラインメントは不要)  
6. R画像及びT画像と任意でA画像の特徴要素ベース  
の欠陥検出  
7. 結果、例えば欠陥位置、サイズ、タイプをデータベ  
ースにセーブし、任意態様として元画像をハードディス  
クにセーブする  
8. 欠陥マップ、欠陥位置、サイズ、タイプ等の中間結  
果及び最終結果を表示する

#### 図5

538 位置合わせする  
544 特徴要素を抽出する  
546 特徴要素を抽出する  
548 特徴要素をマッチングする

#### 図6

605 特徴要素ベース欠陥検出を開始する  
610 画像(基準、被検及び任意態様のアービトレータ

画像)を用意する

615 画像を位置合わせする(任意態様)  
620 特徴要素を抽出する  
625 特徴要素をマッチングする(任意態様としてアラ  
インメント情報を利用する)  
630 特徴要素を比較して欠陥を検出する  
635 欠陥を報告かつ/またはセーブする(任意態様)  
640 他に画像があるか?  
645 終了

#### 10 図7

610 画像(基準及び被検画像)を用意する  
7610A 画像を読み込む/取り込む  
7610B 画像を平滑化する(任意態様)  
7610C 画像を正規化する(任意態様)

#### 図8

630 特徴要素を比較して欠陥を検出する  
8630A 特徴要素特性を計算する  
8630B 計算で得た特徴要素特性を比較する  
8630C 比較結果が欠陥基準に適合するかどうか判断す  
る

20

#### 図9

9610A 基準画像Rを読み取り、保存する  
9610B 基準画像Rを平滑化する(任意態様)  
9620A 基準画像Rから特徴要素を抽出する  
9610C 被検画像Tを読み取り、保存する  
9610D 被検画像を平滑化する(任意態様)  
9610E 被検画像を基準画像に対して正規化する(任意  
態様)  
615 被検画像Tと基準画像Rを位置合わせする(任意  
態様)  
9620B 被検画像から特徴要素を抽出する

#### 図10

630 特徴要素を比較して欠陥を検出する  
10-630A 基準画像Rと被検画像Tの特徴要素特性を計  
算する  
10-630B 計算で求めた基準画像Rと被検画像の特徴要  
素を比較する  
10-630C 特性比較統計データを計算する  
10-630D 比較統計データが欠陥基準に適合するかどう  
か判断する

40

#### 図11

635 欠陥を報告かつ/またはセーブする(任意態様)  
11-635A 欠陥が検出されたならば、次に  
11-635B 欠陥特性統計データを報告する  
11-635C 欠陥特性統計データ及び/または画像情報を  
セーブする

#### 図12

605 特徴要素ベースの欠陥検出を開始する  
610 画像(基準及び被検画像)を用意する  
12-610A 基準画像を用意する(例えばステップ961

50

0A、9610B、9620A)  
 12-610B 被検画像を用意する(例えばステップ9610D、9610E、9620B)  
 615 画像を位置合わせする(任意態様)  
 620 特徴要素を抽出する  
 625 特徴要素をマッチングする  
 630 特徴要素を比較して欠陥を検出する  
 635 欠陥を報告かつ/またはセーブする(任意態様)  
 640 特徴要素ベースの欠陥検出を終了する  
 1245 検査ランの欠陥結果を報告する  
 1250 終了

図13

9620A 基準画像Rから特徴要素を抽出する  
 13-9620A1 基準画像Rの平均背景レベルを計算する  
 13-9620A2 基準画像Rから背景レベルを除去して第1の修正基準画像R1を生成する  
 13-9620A3 第1の修正基準画像R1をスレッシュホールド値比較処理して第2の修正基準画像R2を生成する  
 13-9620A4 第2の修正基準画像R2の特徴要素を特定する

図14

9620B 被検画像Tから特徴要素を抽出する  
 14-9620B1 被検画像Tの平均背景レベルを計算する  
 14-9620B2 被検画像Tから背景レベルを除去して第1の修正被検画像T1を生成する  
 14-9620B3 第1の修正被検画像R1をスレッシュホールド値比較処理して第2の修正被検画像T2を生成する  
 14-9620B4 第2の修正被検画像T2の特徴要素を特定する

図15

9620A 基準画像Rから特徴要素を抽出する  
 15-9620A1 基準画像R1の平均背景レベルを計算する(任意態様)  
 15-9620A2 基準画像Rから背景レベルを除去する(任意態様)  
 15-9620A3 特徴要素テンプレートを基準画像Rにマッチングする  
 15-9620A4 あるスレッシュホールド以上でテンプレートとマッチする基準画像中の特徴要素を識別する

図16

9620B 被検画像Tから特徴要素を抽出する  
 16-9620B1 被検画像T1の平均背景レベルを計算する(任意態様)  
 16-9620B2 被検画像Tから背景レベルを除去する(任意態様)  
 16-9620B3 特徴要素テンプレートを被検画像Tにマッチングする  
 16-9620B4 あるスレッシュホールド以上でテンプレートとマッチする被検画像中の特徴要素を識別する

図17A

1700 検査ループ(VxWorks)を開始する  
 1702 実行パラメータをダウンロードする  
 1704 他に基準画像があるか?  
 1706 前処理された基準画像をロードする  
 1708 前処理された基準画像(バルクメモリ)  
 1710 前処理された基準画像(RAIDディスク)  
 1712 基準画像がロードされているか?  
 1714 基準画像の欠陥を報告する

図17B

10 1716 他に被検画像があるか?  
 1718 被検画像をロードする  
 1720 被検画像入力(走査バッファ)  
 1722 被検画像(バルクメモリ)  
 1724 被検画像がロードされているか?  
 1726 被検画像の欠陥を報告する

図17C

1728 被検画像を処理する必要があるか?  
 1730 被検画像を前処理する  
 1732 DSBは位置合わせ済みか?  
 20 1734 基準画像と被検画像の粗調アラインメント  
 1736 粗調アラインメントは最低限適切か?  
 1738 L. S. アラインメント・パラメータを更新する  
 1740 L. S. アラインメント・パラメータを送る(VxWorks)  
 1742 粗調アラインメントは十分か?  
 1744 DSB Alignedフラグをセットする  
 1746 微調アラインメントを行う必要があるか?  
 1748 基準画像と被検画像の微調アラインメント

図17D

30 1750 被検画像から特徴要素を抽出する  
 1752 被検画像の特徴要素(ローカルメモリ)  
 1754 基準画像の特徴要素(ローカルメモリ)  
 1756 特徴要素をマッチングする  
 1758 特徴要素を比較して欠陥を検出する  
 1760 欠陥特徴要素(ローカルメモリ)  
 1762 欠陥画像を計算により生成する  
 1764 欠陥画像(バルクメモリ?)  
 1766 欠陥結果を計算する  
 1768 欠陥結果(バルクメモリ)  
 40 1770 欠陥報告を更新する  
 1772 欠陥結果及び欠陥画像(バルクメモリ?)  
 1774 欠陥結果及び欠陥画像(RAIDディスク)

図21

2100 完全マッチの直線

図24

2410 アレイモードF B D Dを開始する  
 2420 反復アレイ構造の次の画像を取り込む  
 2430 ノイズ低減(例えば平滑化)  
 2440 特徴要素抽出  
 50 2450 セルの繰り返し偏差を用いたセル対セルの特徴要

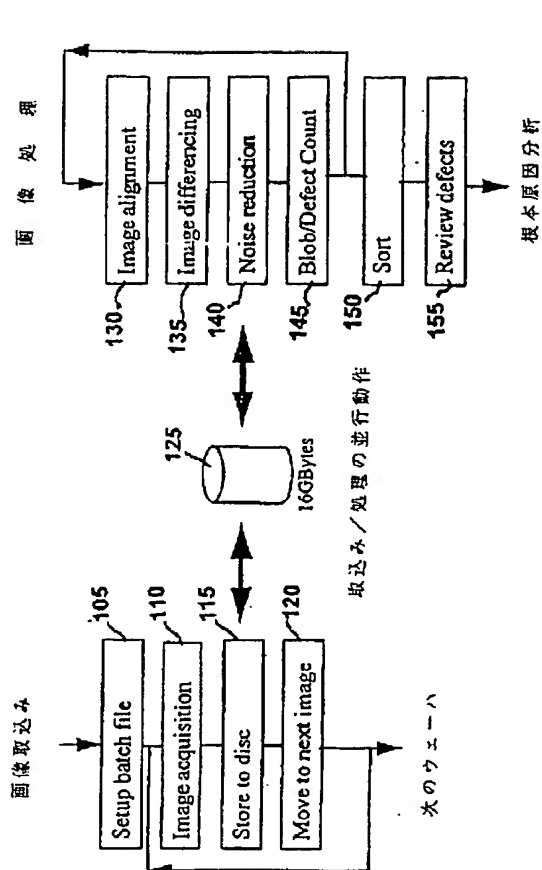


＊の任意態様のアービトレーション

2480 特徴要素比較及び欠陥報告

2490 全画像について繰り返す

【圖 1】



**Prior Art**  
**Figure 1**

【図2】

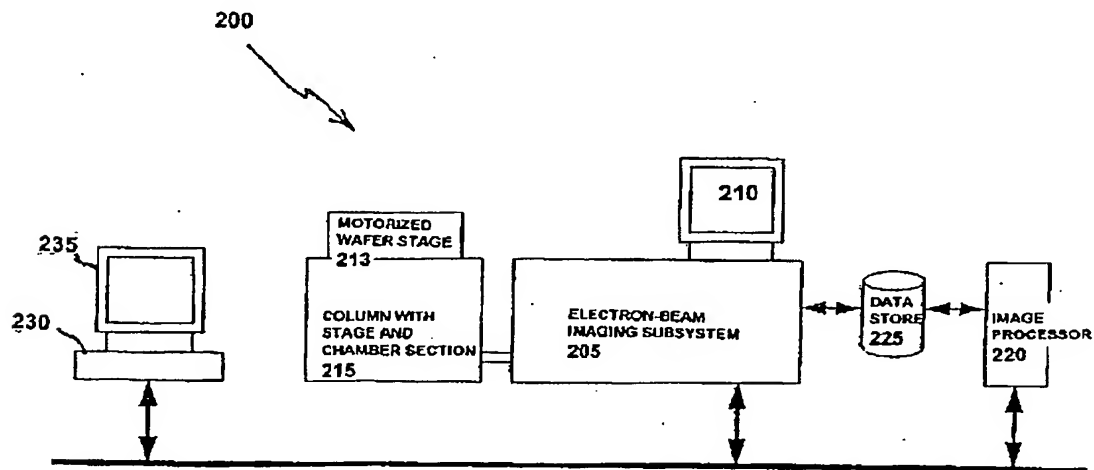


Figure 2

【図4】

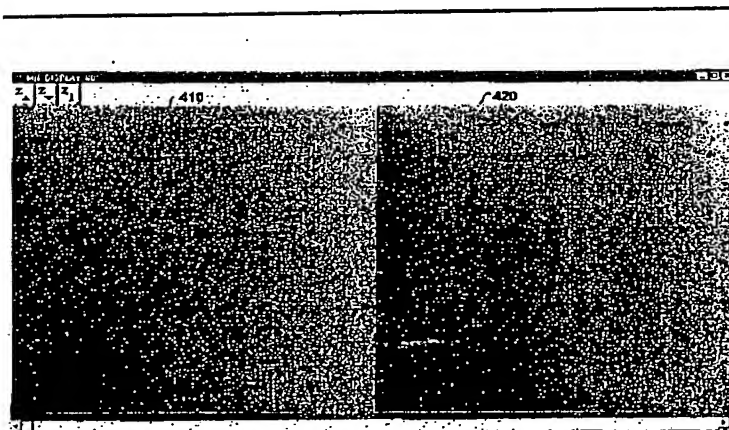
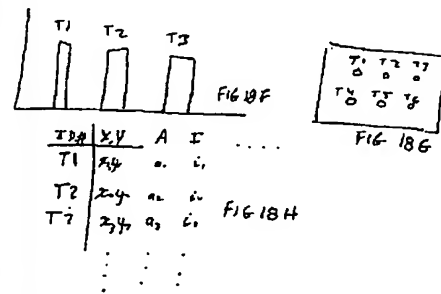


Figure 4

【図18Y】



【図 3】

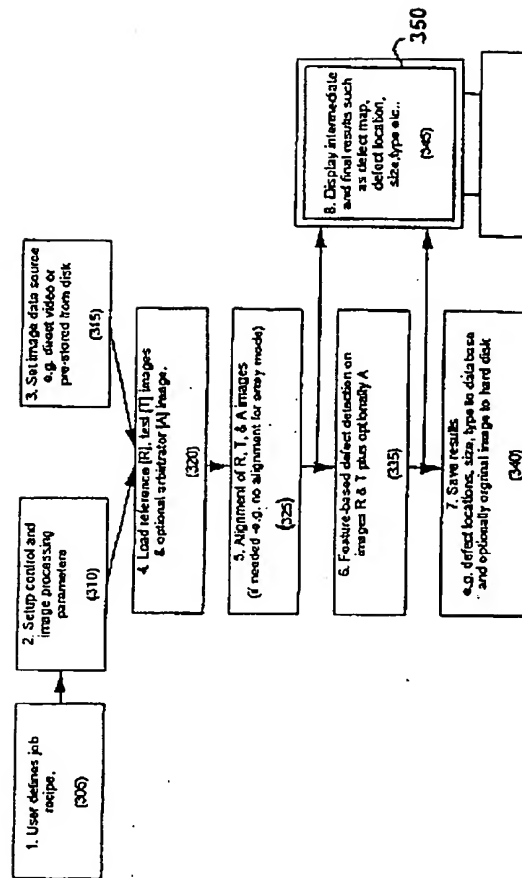


Figure 3



【図6】

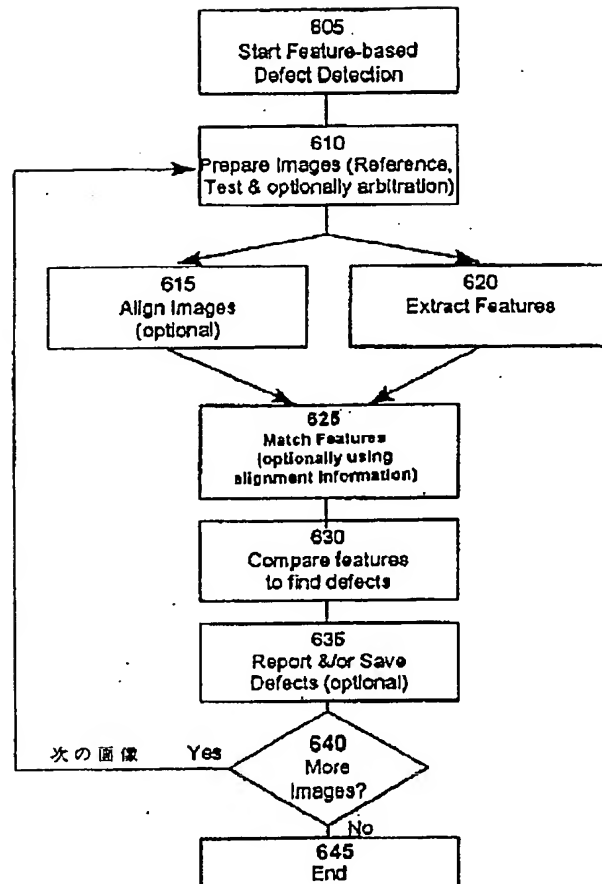


Figure 6

【図7】

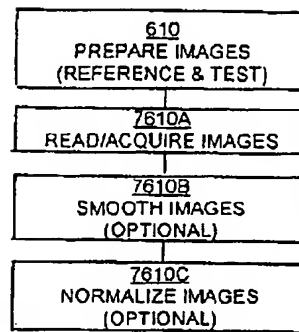


FIGURE 7

630



〔図 8〕

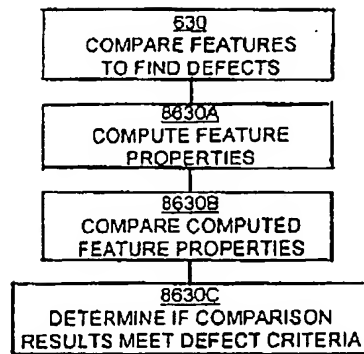


FIGURE 8

〔図 11〕

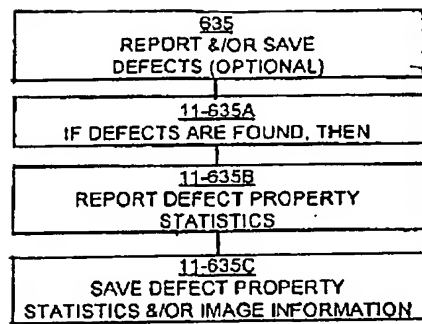
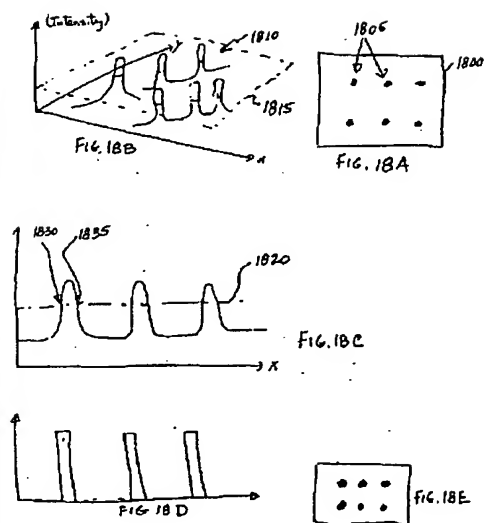


FIGURE 11

〔図 18X〕



[図9]

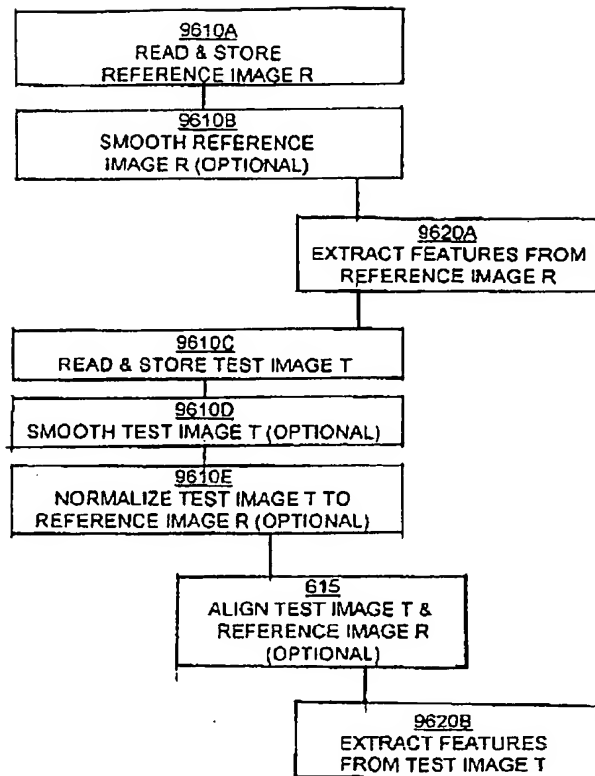


FIGURE 9

【図10】

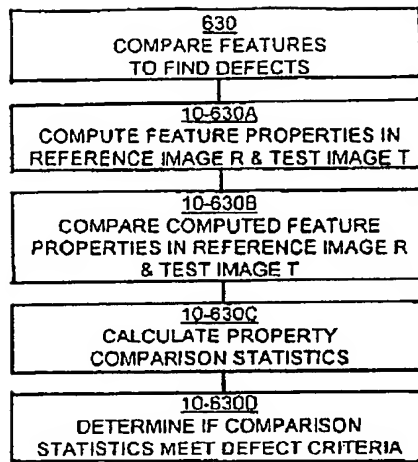


FIGURE 10

【図12】

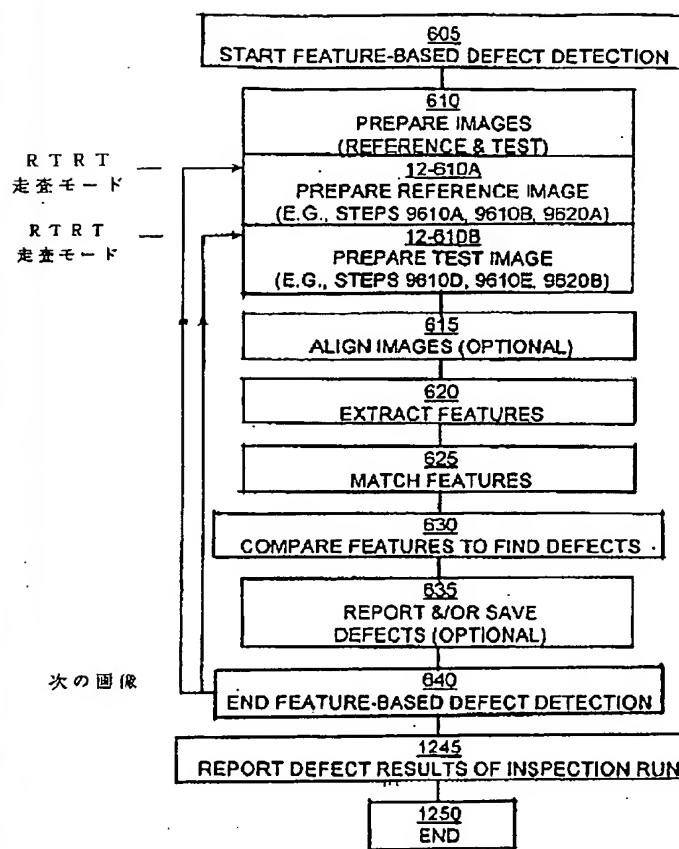


FIGURE 12

【図13】

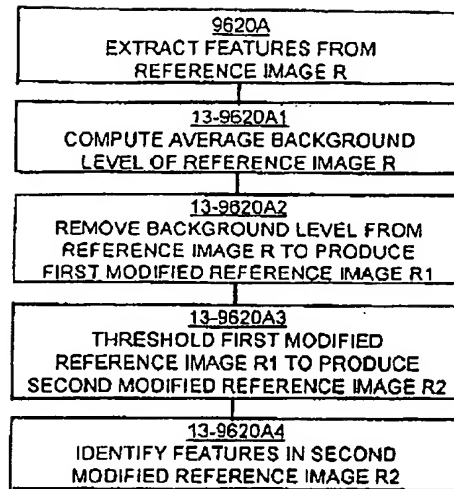


FIGURE 13

【図14】

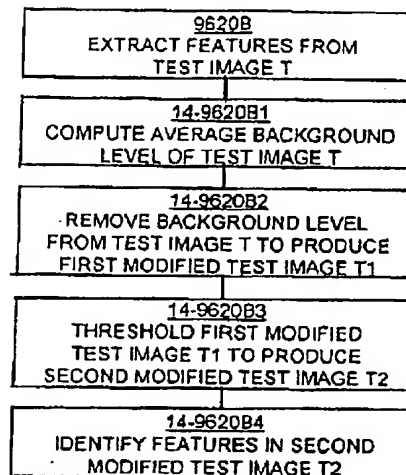


FIGURE 14

〔図15〕

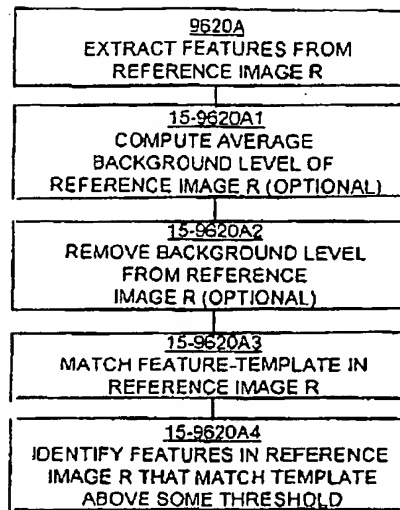


FIGURE 15



【図16】

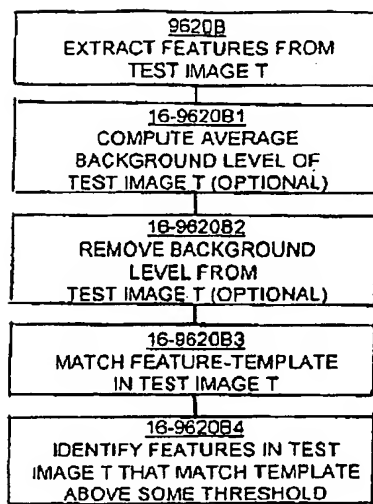
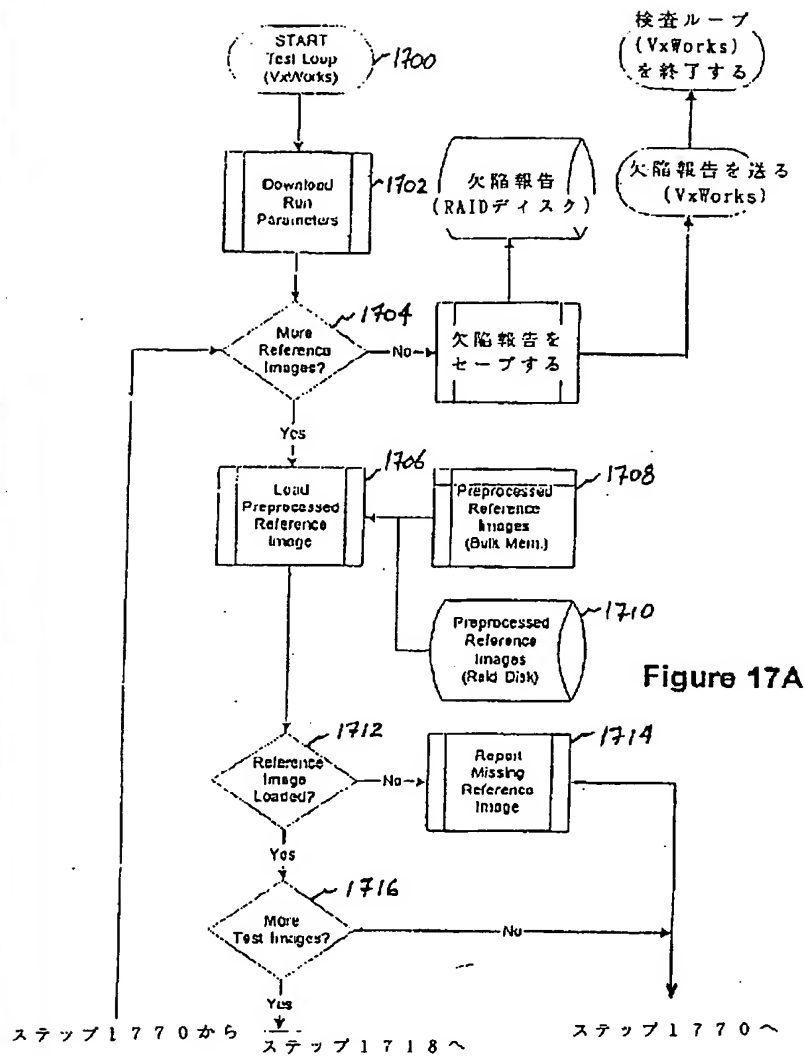
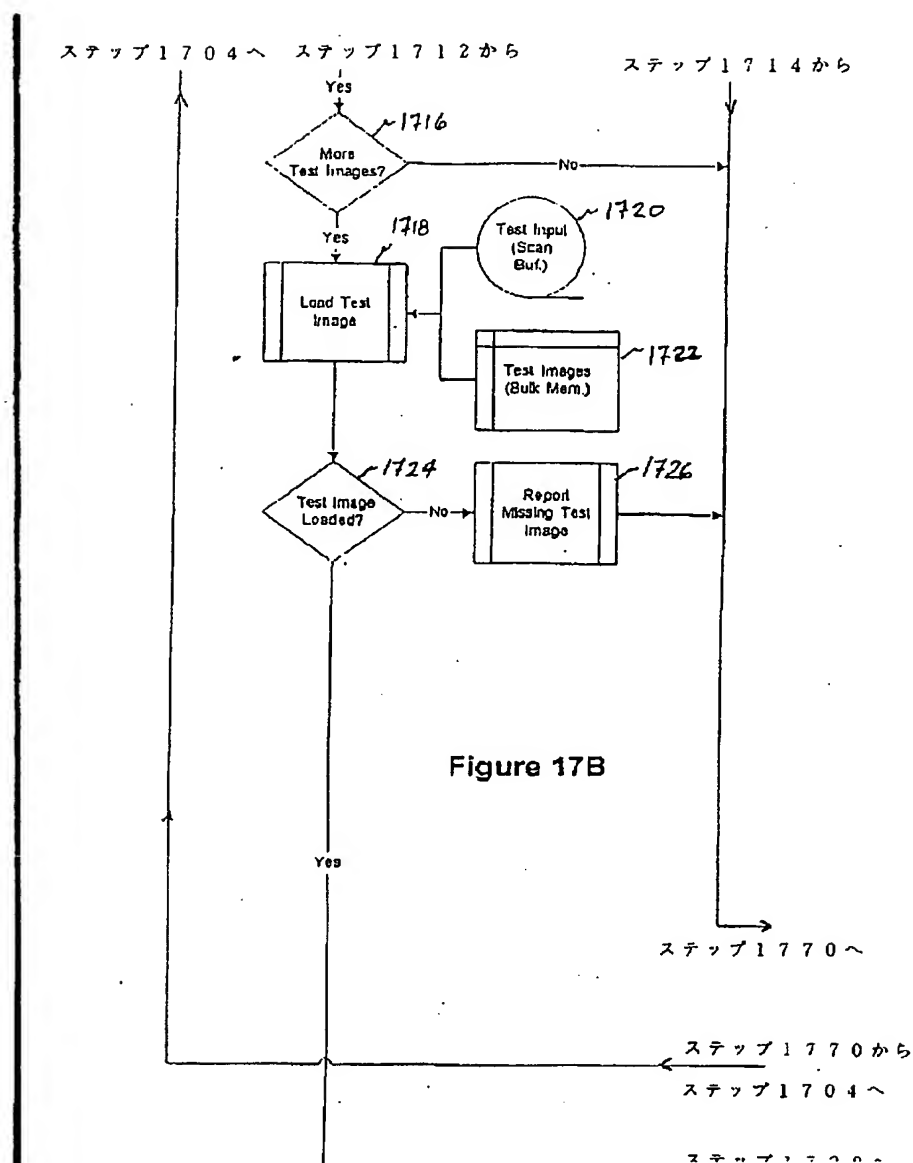


FIGURE 16

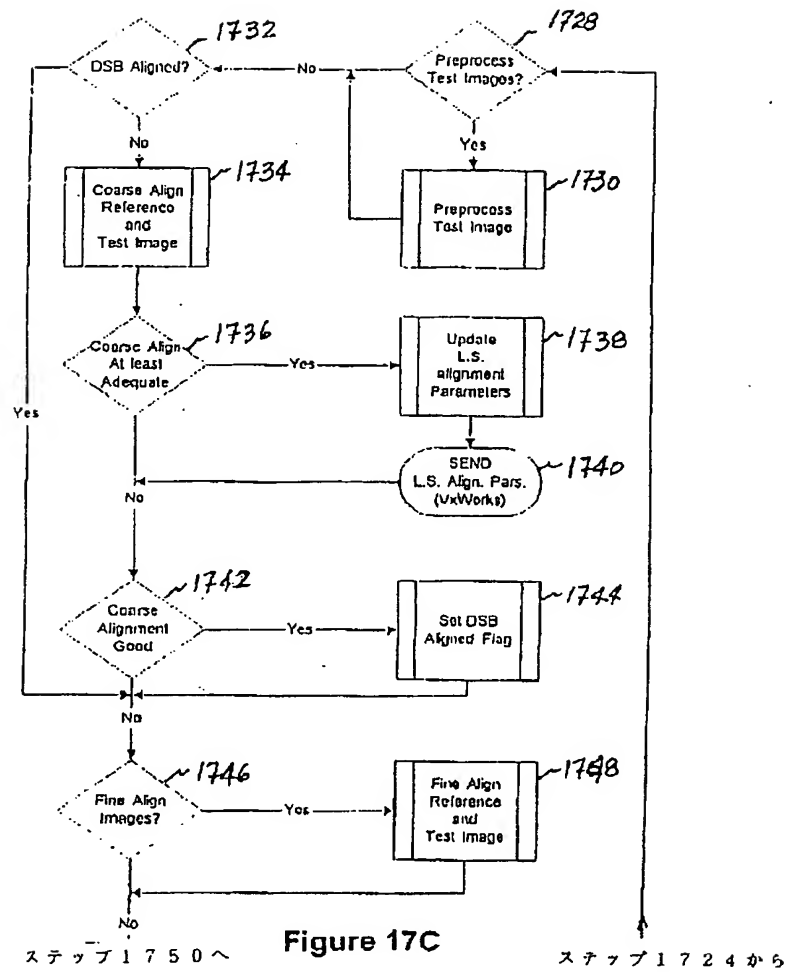
【図17A】



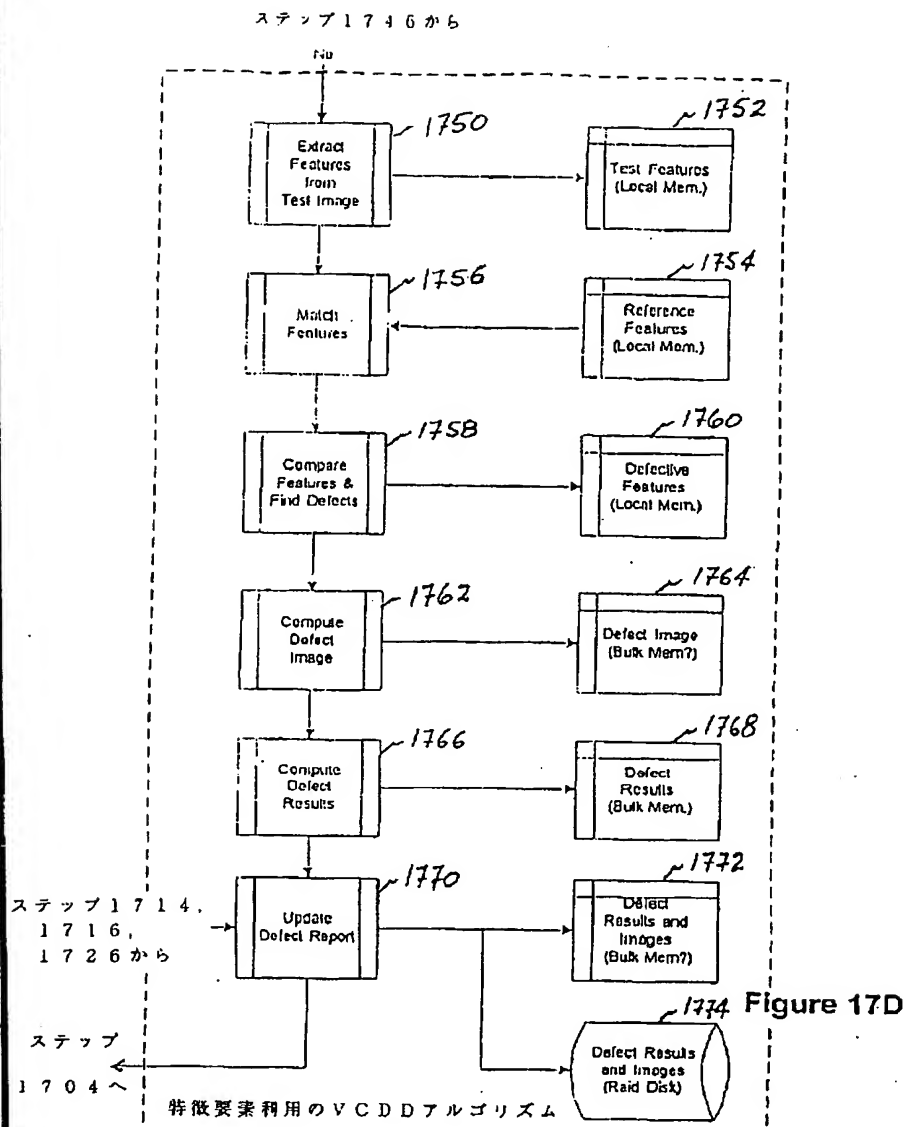
【図17B】



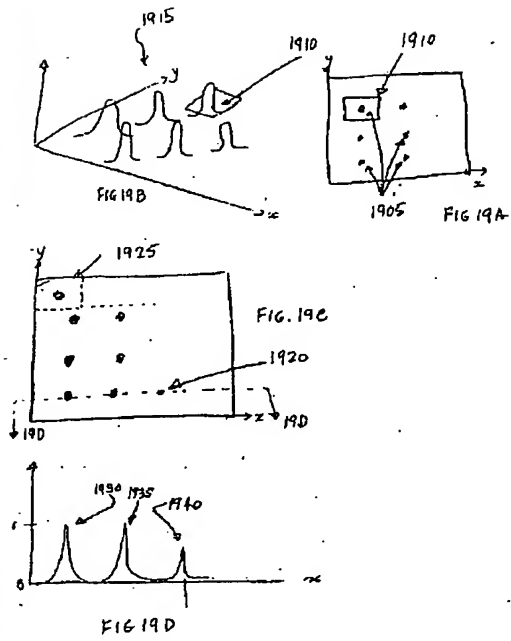
【図17C】



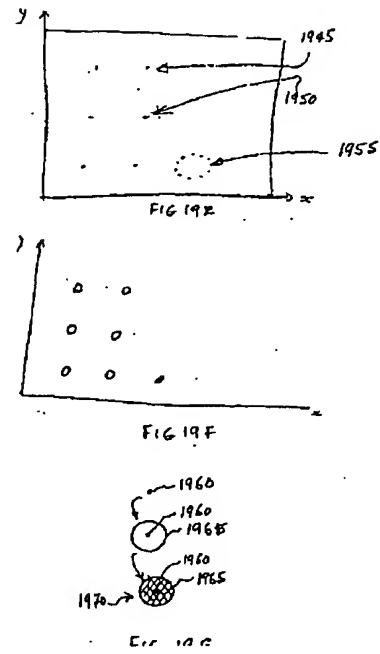
【図17D】



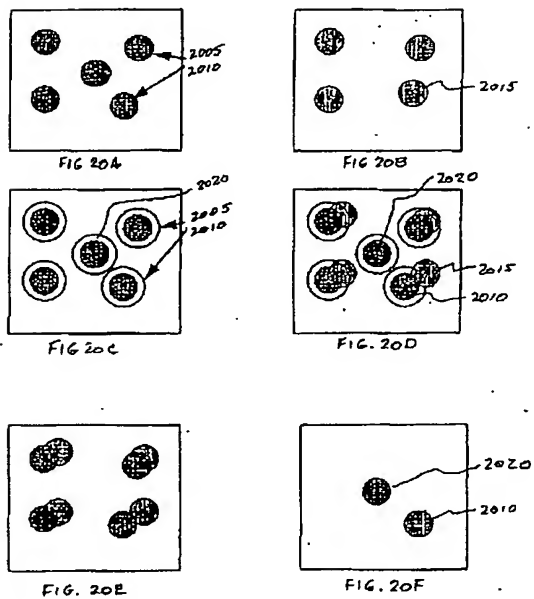
【図19X】



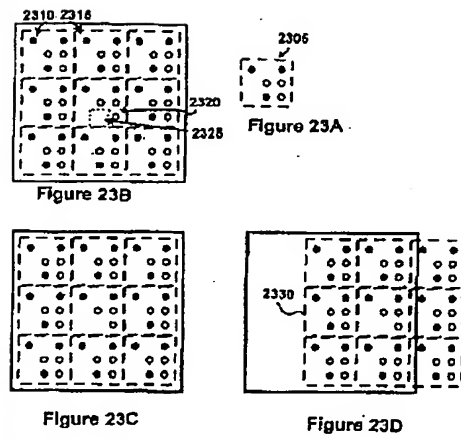
【図19Y】



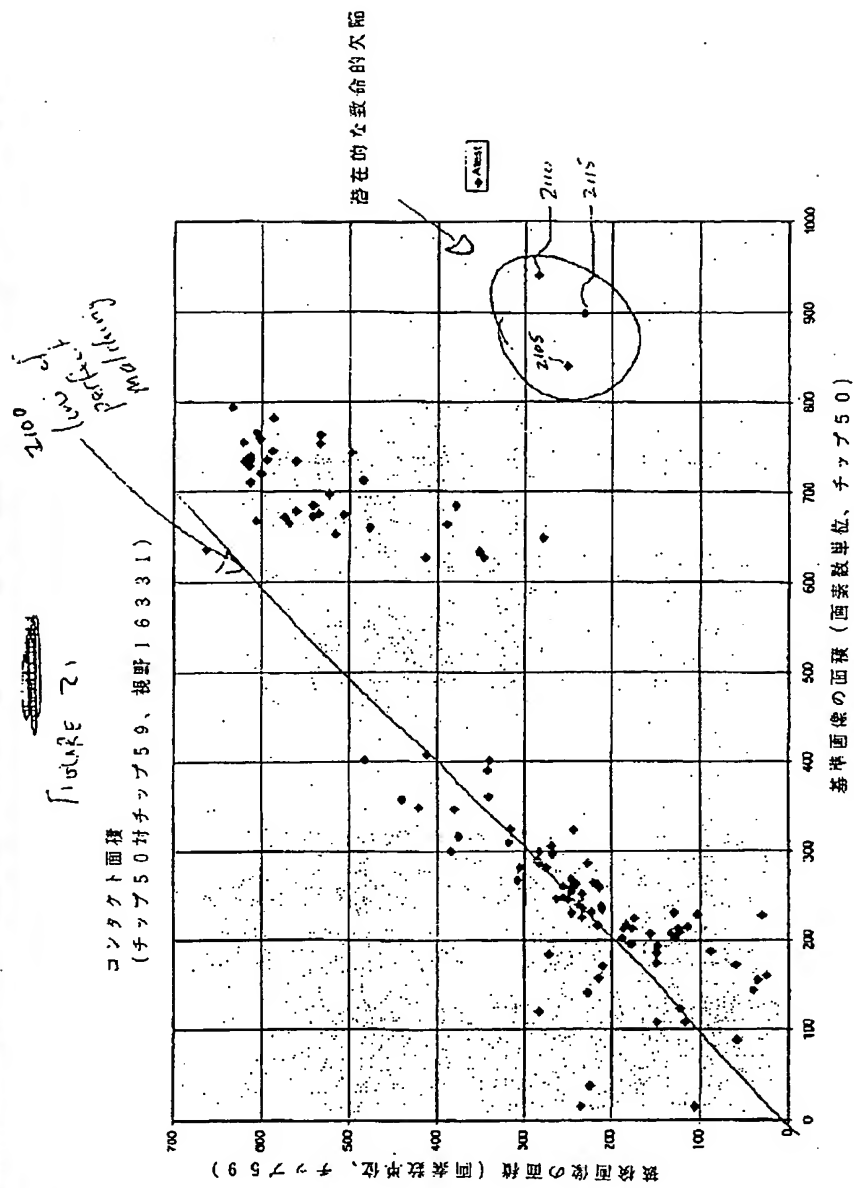
【図20】



【図23】



【図21】



【図22】

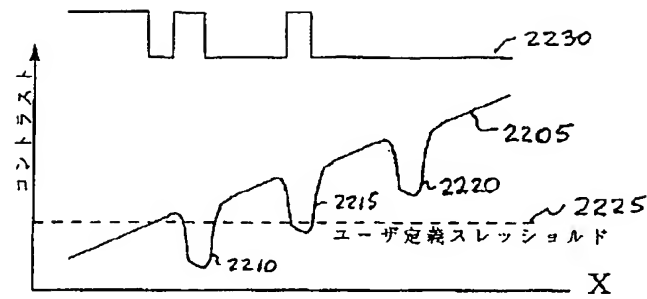


Figure 22A

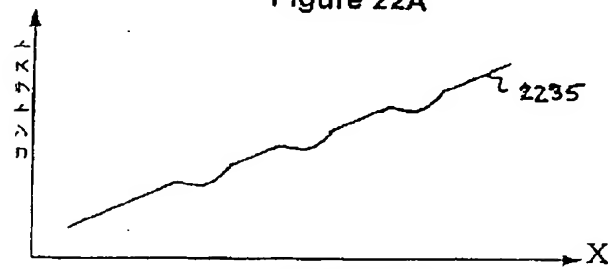
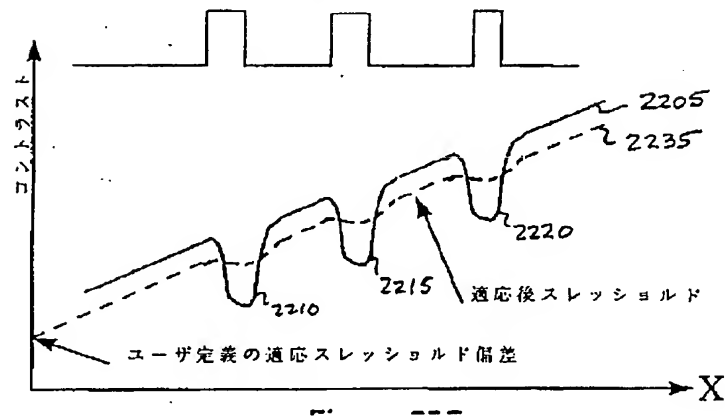


Figure 22B





【図24】

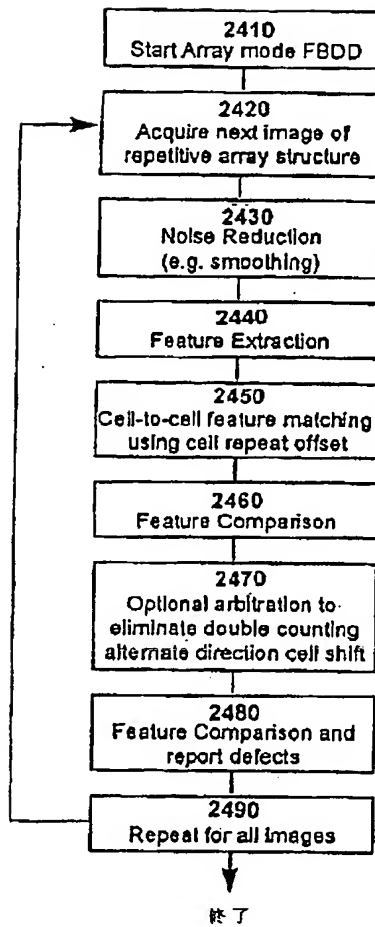


Figure 24

【手続補正書】

【提出日】平成12年4月28日(2000. 4. 2

8)

【手続補正1】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】全図

【補正方法】変更

【補正内容】

【図1】

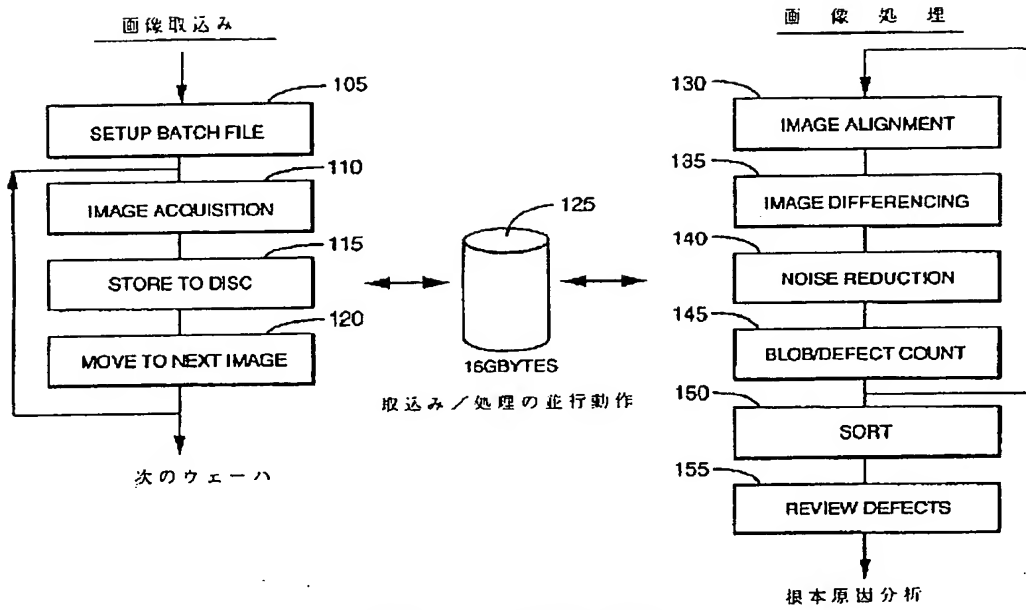


FIG. 1 (PRIOR ART)

【図2】

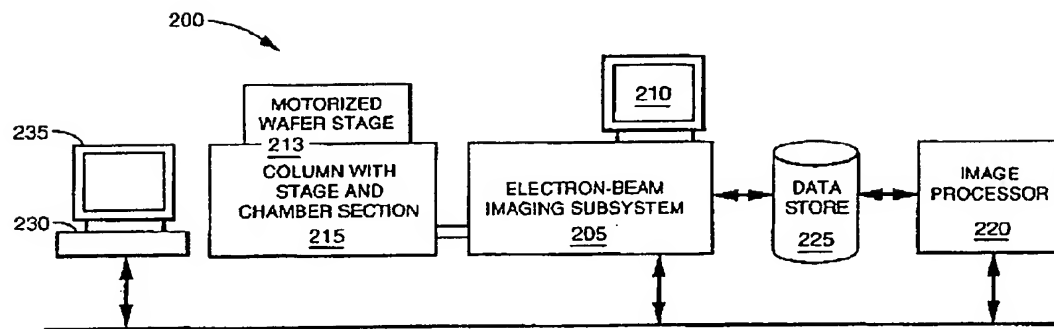


FIG. 2

【図3】

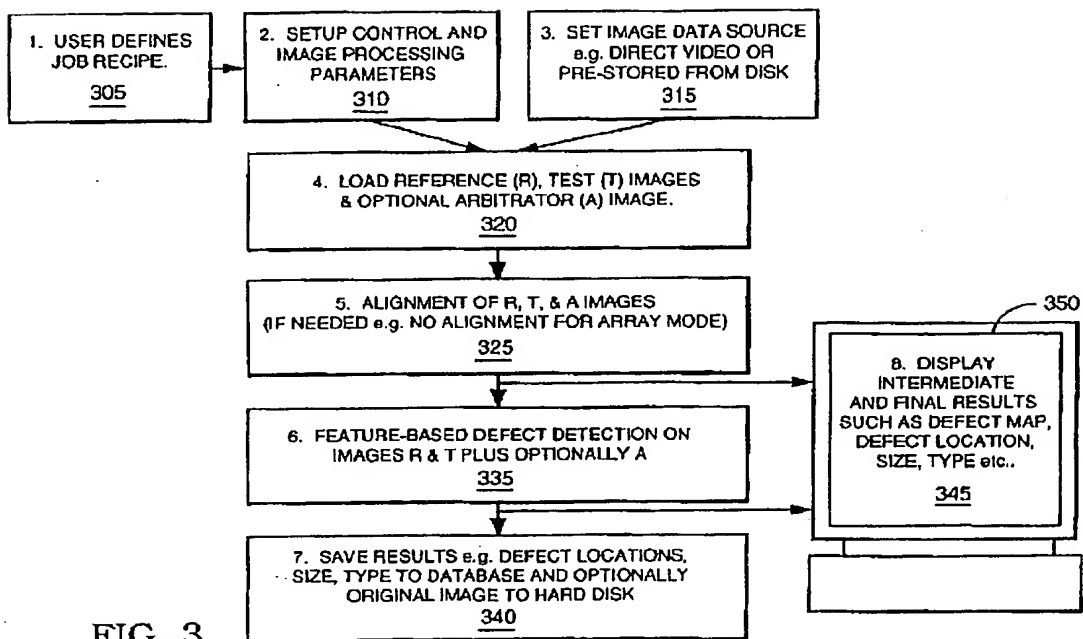


FIG. 3

【図4】

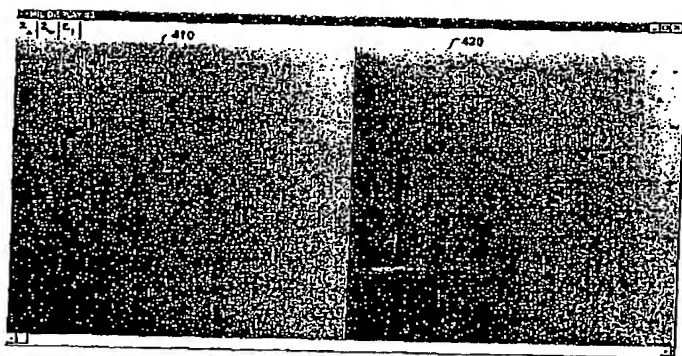


FIG. 4

【図7】

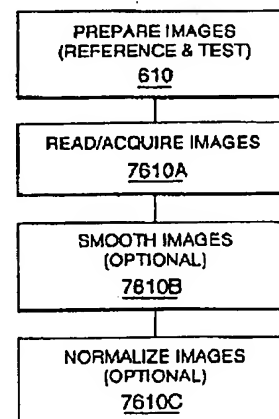


FIG. 7

【図 5】

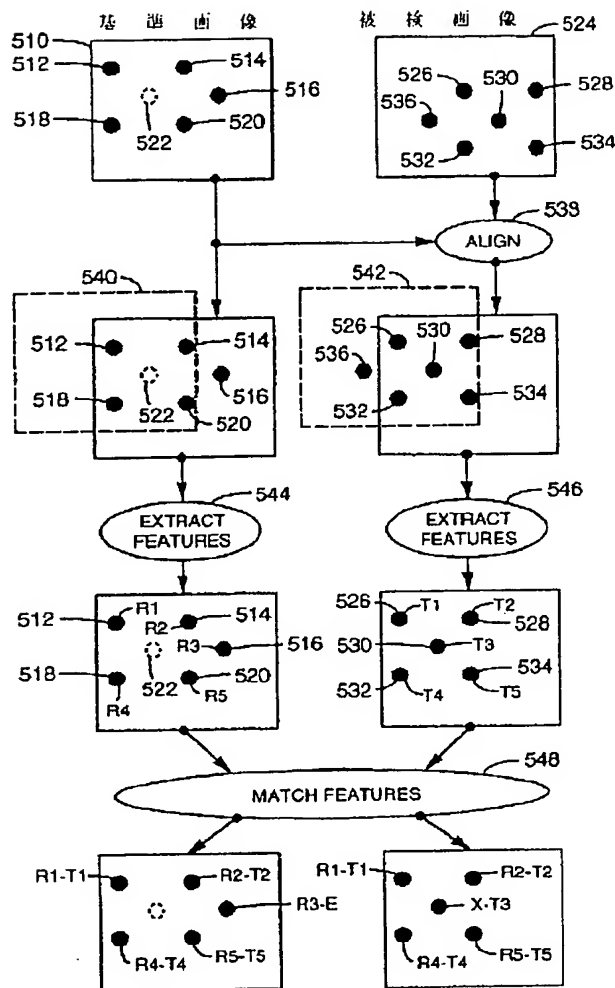


FIG. 5

【図 6】

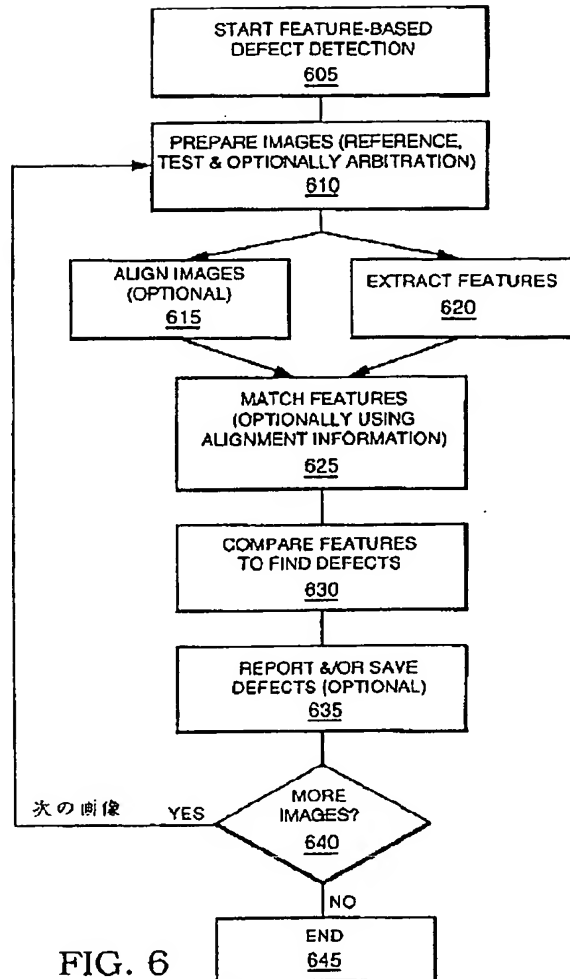


FIG. 6

【図 11】

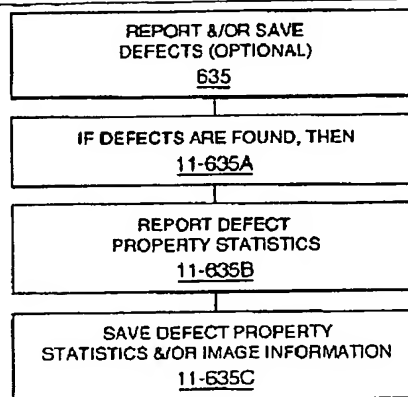


FIG. 11

【図 8】

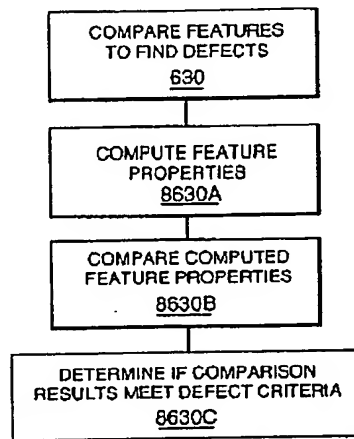


FIG. 8

【図 10】

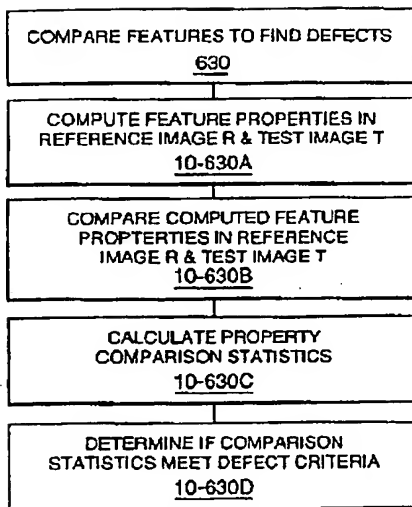


FIG. 10

【図 13】

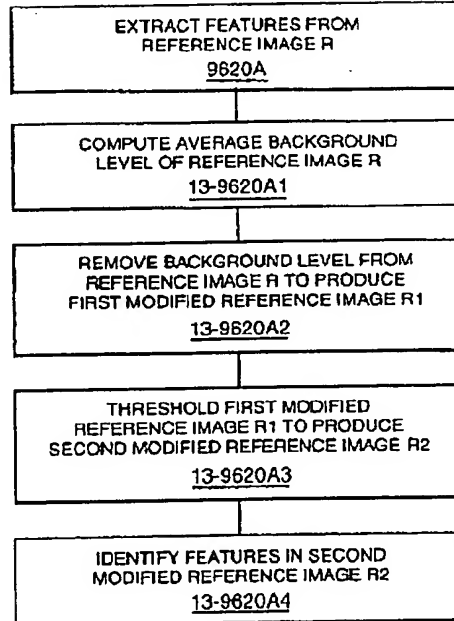


FIG. 13

【図 19Y】

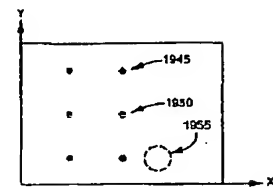


FIG. 19E

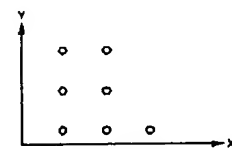


FIG. 19F

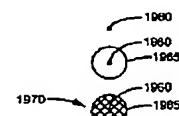


FIG. 19G

【図 9】

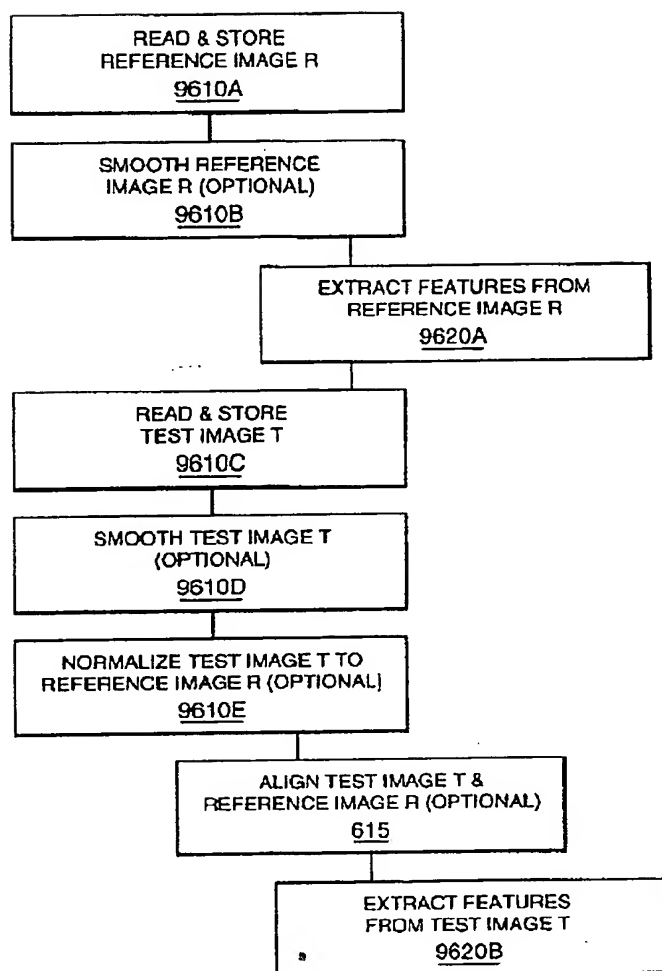
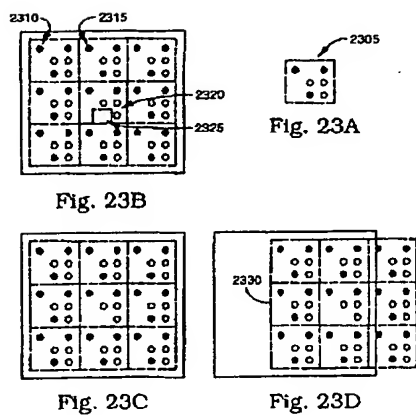


FIG. 9

【図 23】



【図 14】

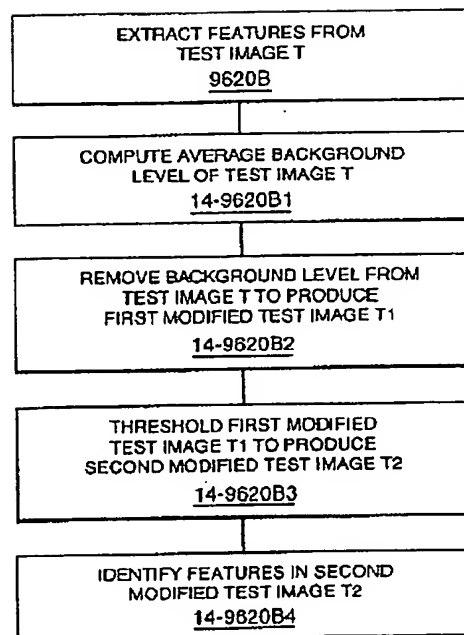


FIG. 14

【図 16】

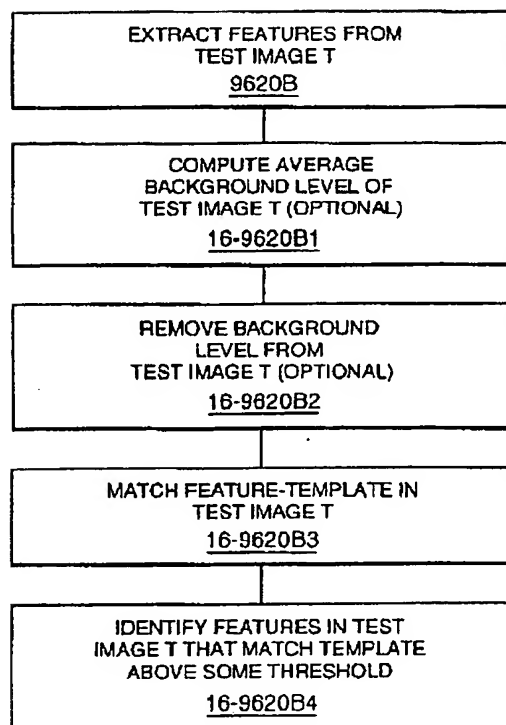


FIG. 16

【図12】

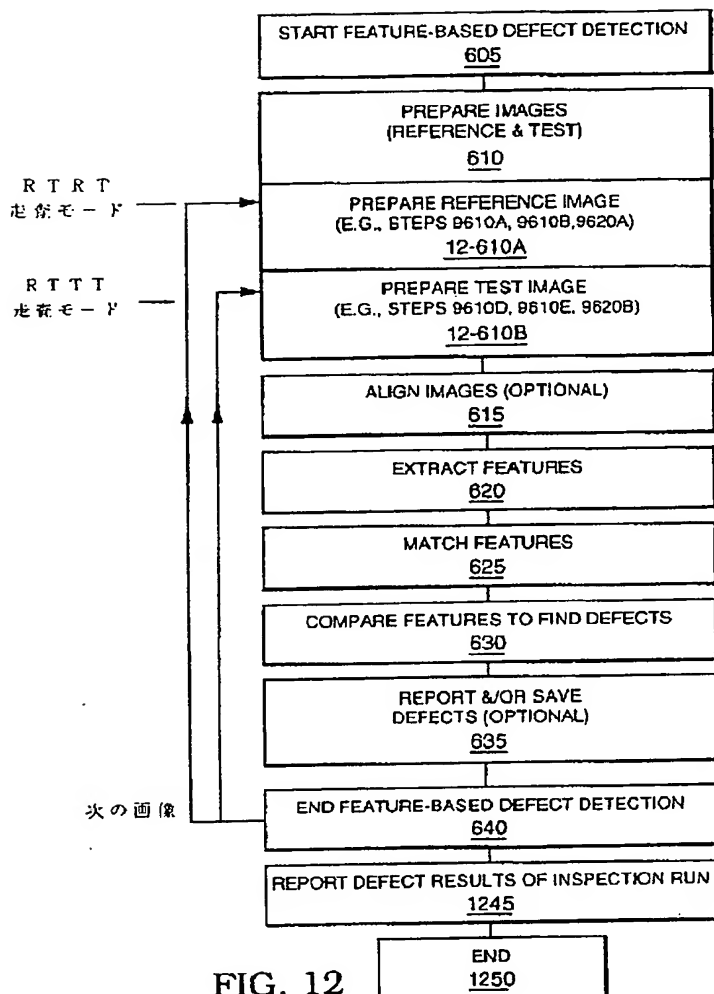


FIG. 12

【図15】

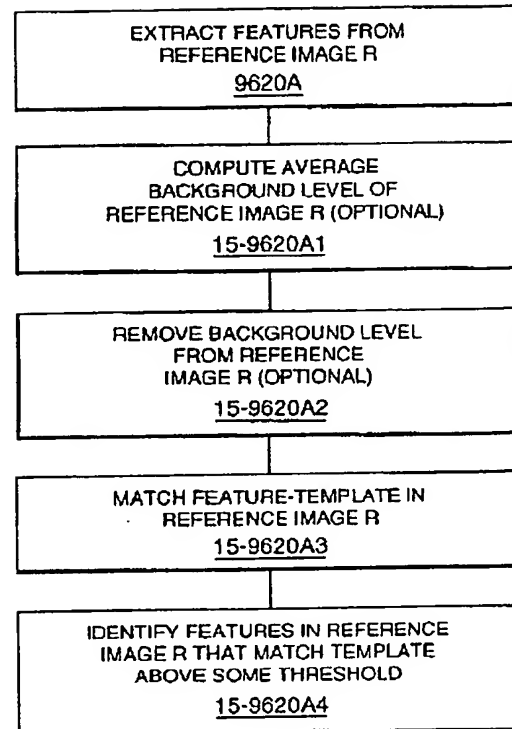


FIG. 15

【図17A】

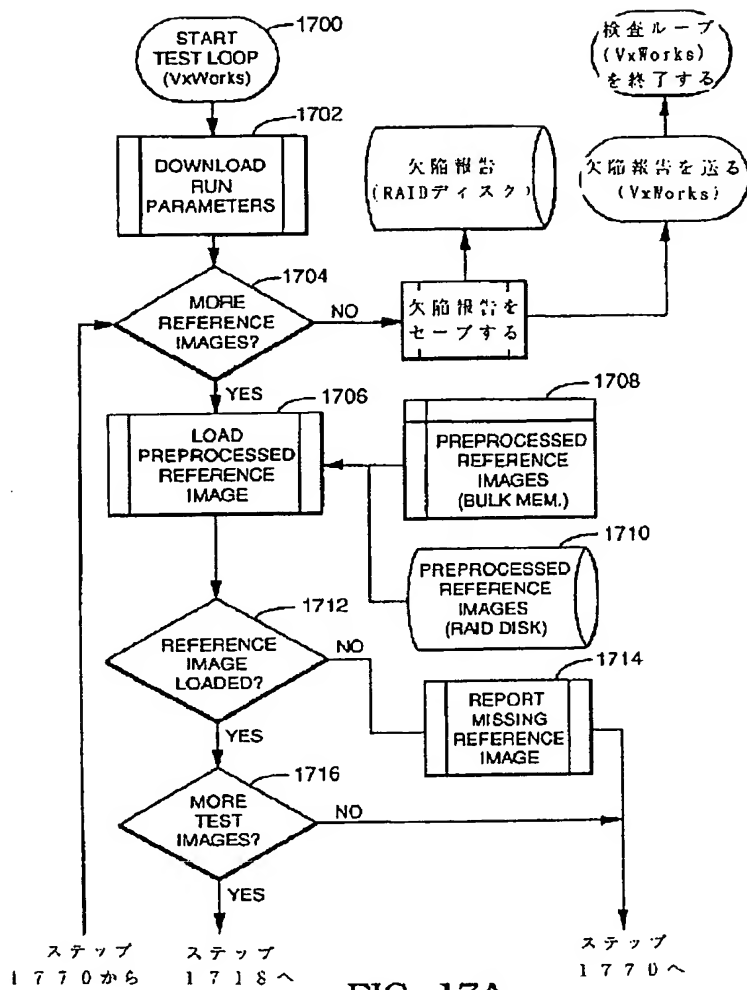
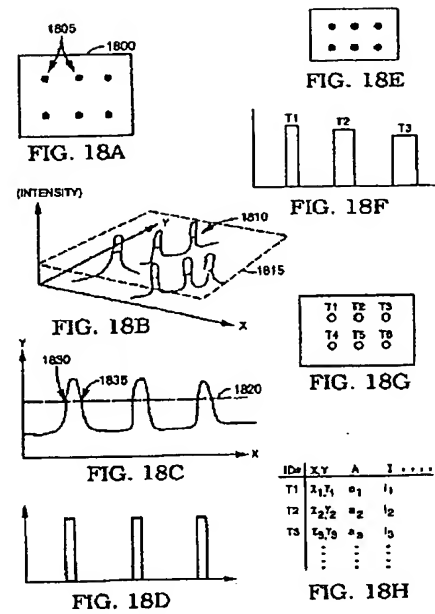
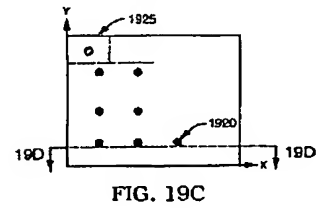
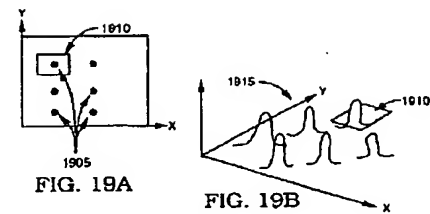


FIG. 17A

【図18】



【図19X】





【図17B】

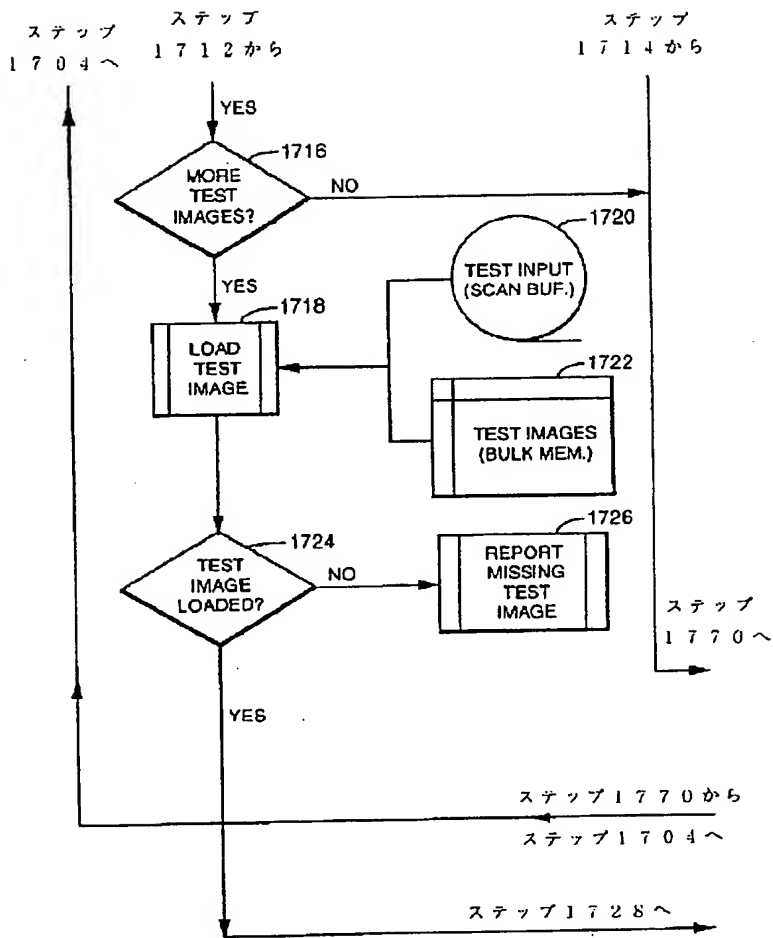
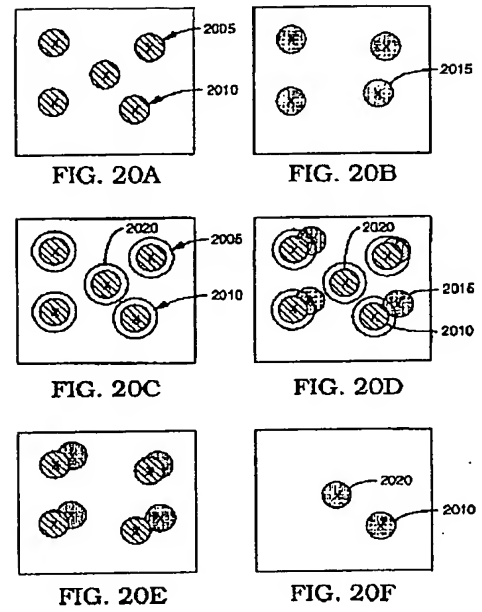
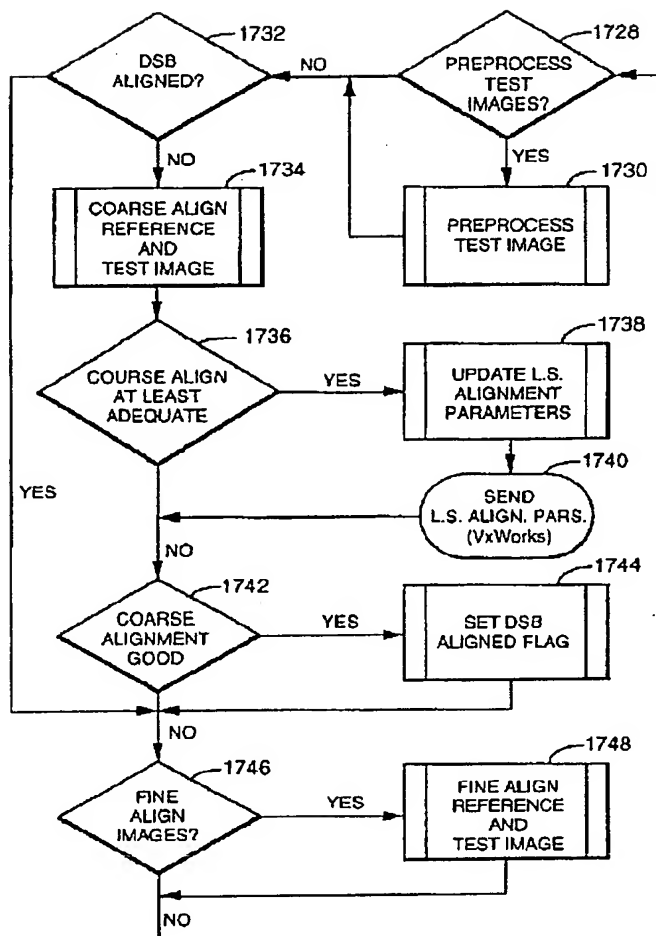


FIG. 17B

【図20】



【図17C】



ステップ  
1750へ

FIG. 17C

ステップ  
1724から

【図24】

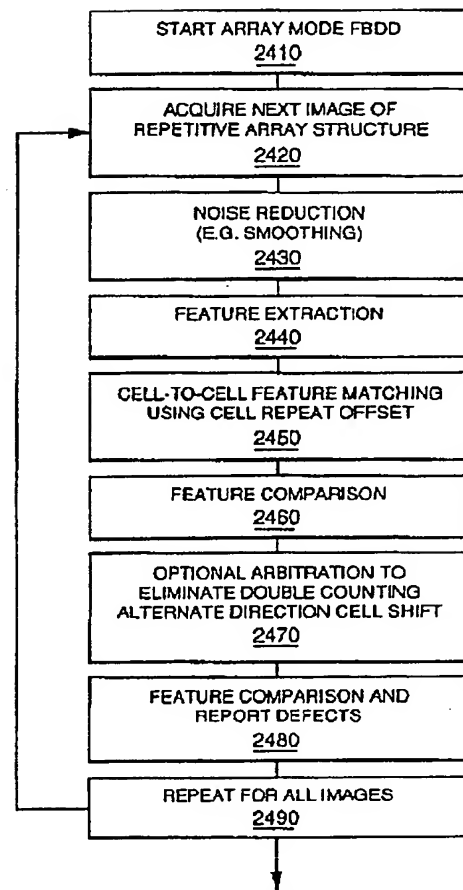
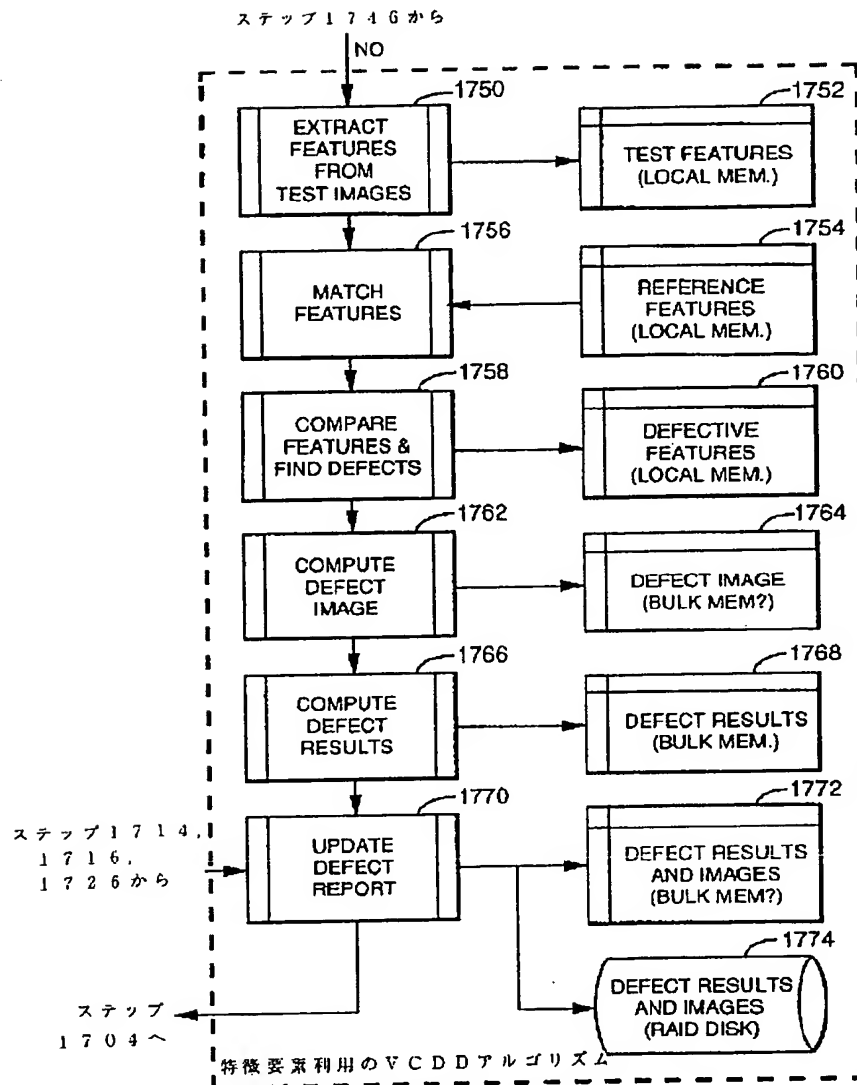
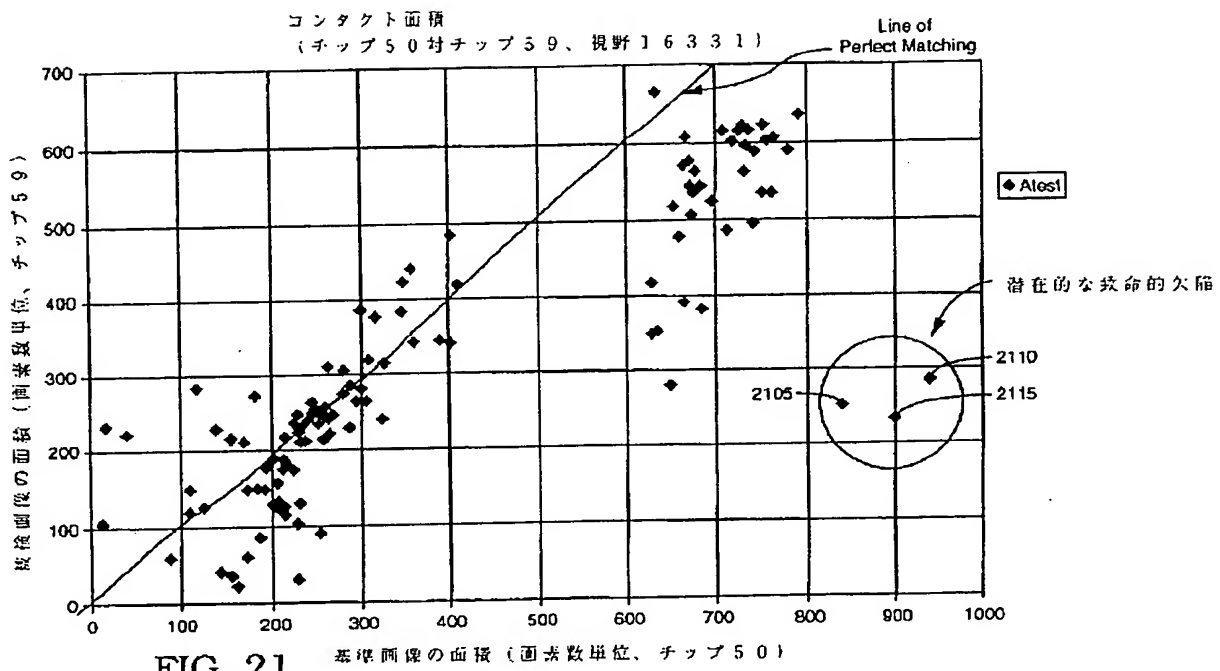


FIG. 24 終了

【図17D】



【図21】



【図22】

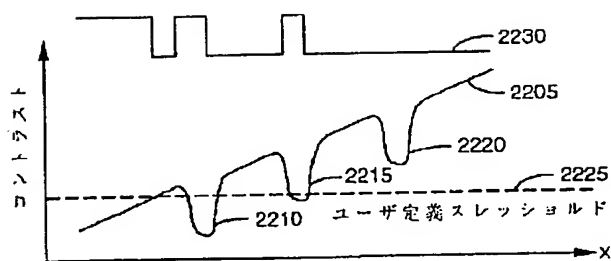


FIG. 22A



FIG. 22B

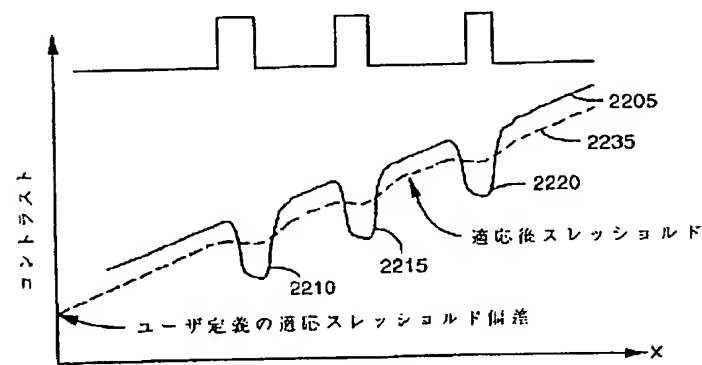


FIG. 22C

フロントページの続き

(72)発明者 チウエイ ウェイン ロー  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
95008 キャンベル, オレステス ウェイ  
2035

(72)発明者 アダム ローズ  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
94583 サンラモン, ルビコン ヴァレイ  
コート 300

(72)発明者 クリストファー ジー. タルボット  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
94062 エメラルド ヒルズ, サミット  
コート 6